

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование среды взаимодействия автономных робототехнических устройств в условиях тушения лесных пожаров

УДК 004.925:007.52:614.841.42:630

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E61	Тюндеров Кирилл Вадимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	к.т.н. доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
<i>Универсальные компетенции</i>	
P6	Интегрировать знания в области анализа, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем со знаниями из смежных областей
P7	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности
P12	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования – бакалавриат
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	12.05.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.06.2020	Основная часть	60
05.06.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
05.06.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	к.т.н. доцент		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

(Подпись) (Дата)

В форме:

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Группа	ФИО
8E61	Тюндеров Кирилл Вадимович

<p>Моделирование среды взаимодействия автономных робототехнических устройств в условиях тушения лесных пожаров</p>	
<p>Утверждена приказом директора (дата, номер)</p>	<p>28.02.2020, 59-53/с</p>

12.05.2020

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом проектирования является программное обеспечение, предназначенное для предобучения группы роботов сдерживать очаг лесного пожара при различных условиях.</p> <p>Набор инструментов для разработки среды моделирования следует выбрать исходя из собственных предпочтений.</p> <p>Ресурсы роботов ограничены.</p>
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1) Обзор и анализ существующих решений. 2) Разработка структуры среды моделирования. 3) Реализация алгоритма разгорания очага пожара. 4) Разработка модели робота. 5) Разработка наград и штрафов. 6) Разработка алгоритмов визуализации среды.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Блок-схемы алгоритмов, дерево вызовов

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Матвиенко Владимир Владиславович, ассистент ООД ШБИП

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Тырышкин Александр Васильевич	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Тюндеров Кирилл Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е61	Тюндеров Кирилл Вадимович

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ, ставка дисконтирования $i=0.1$)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ - <u>выполнить</u>
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - <u>выполнить</u>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к. э. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Тюндеров Кирилл Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е61	Тюндерову Кириллу Вадимовичу

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Моделирование среды взаимодействия автономных робототехнических устройств в условиях тушения лесных пожаров

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является среда моделирования взаимодействия роботов при тушении пожара. Среда предназначена для предобучения управляющей программы.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации (ТК РФ) [21]. – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [22]. – ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования [23].
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Электромагнитные поля. – Электростатика. – Шум. – Нарушение микроклимата. – Нарушение освещенности. – Психофизиологические факторы.
3. Экологическая безопасность:	В силу области применения разработки, при неправильном обучении влияние будет оказываться на атмосферу и литосферу. В частности, на растительность и леса.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятным ЧС является попадание тушащей струей в человека.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E61	Тюндеров Кирилл Вадимович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 34 рисунка, 15 таблиц, список используемых источников содержит 33 наименования.

Ключевые слова: среда моделирования, обучение с подкреплением, очаг пожара, групповое управление, группа роботов, пожар, программное обеспечение.

Цель работы – разработка среды моделирования для предобучения группы роботов в условиях сдерживания распространения очага пожара.

В ходе работы был проведён анализ имеющихся средств борьбы с лесными пожарами, также сред моделирования распространения очагов пожара и сред, предназначенных для обучения с подкреплением. На основе выявленных недостатков, была реализована структура среды моделирования, подходящая под обучение группы роботов, разработан математический аппарат, позволяющий описывать распространение очага пожара. Также были определены цели и ограничения для действий роботов при обучении, на основании этого был проведен дизайн наград и штрафов. Разработка велась на языке программирования Python с использованием сторонних библиотек (для визуализации).

Содержание

Введение	13
1 Обзор аналогов	16
1.1 OpenAI Gym.....	16
1.2 Fenix+	20
1.3 FireTactics.....	22
1.4 Оценочная карта	23
2 Задачи.....	24
2.1 Глобальная задача	24
2.2 Локальные задачи.....	24
3 Разработка среды.....	25
3.1 Структура.....	25
3.2 Очаг пожара	31
3.2.1 Распространение очага пожара.....	32
3.2.2 Реакция на тушение от агента	42
3.2.3 Реализация выгорания и тления	44
3.3 Агент	45
3.3.1 Алгоритм регистрации столкновения	47
3.3.2 Алгоритм регистрации попадания в пожар	48
3.4 Дизайн наград и штрафов	51
3.5 Рендер среды	54
3.6 Дополнительные инструменты среды.....	62
3.6.1 Диагностика наград.....	62
3.6.2 Встроенная документация	62
3.6.3 Режим одиночного управления	63
	10

3.6.4 Отключение рендера	63
3.7 Вывод по разработанной среде моделирования	64
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	66
4.1 SWOT-анализ проекта.....	66
4.2 Организация и планирование работ	67
4.2.1 Продолжительность этапов работ	68
4.3 Смета затрат на выполнение проекта.....	73
4.3.1 Заработная плата	73
4.3.2 Социальный налог	74
4.3.3 Расходы на электроэнергию	74
4.3.4 Амортизационные отчисления	75
4.3.5 Прочие расходы.....	76
4.3.6 Общая себестоимость разработки	76
4.3.7 Расчет прибыли и НДС	76
4.3.8 Цена разработки НИР.....	77
4.4 Экономическая эффективность проекта	77
4.5 Вывод по разделу финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережению	78
5 Социальная ответственность	79
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	80
5.1.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны	80
5.2 Профессиональная социальная безопасность.....	83
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	86

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	92
5.3 Экологическая безопасность	93
5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	93
5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	94
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	96
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	97
5.5 Выводы по разделу социальной ответственности	98
Заключение	100
Conclusion	101
Список публикаций	102
Список используемой литературы	103

Введение

На 2019-2020 год приходится огромный ущерб от пожаров по всему миру, например, в Австралии на 5 января 2020 года, площадь пожара составила 6,3 млн га и погибло 25 человек [1], в России за 2019 год площадь, пройденная лесными пожарами, составила 10 млн га [2]. Сезон лесных пожаров в Калифорнии в 2019 году был разрушительным. Тысячи людей лишились своих домов, выжжено более 101 171 гектаров леса. Ущерб власти оценили в 104 миллиарда долларов. Для предотвращения лесных пожаров власти вводили плановые отключения электроэнергии. В итоге 3 млн человек оставались длительное время без электричества, некоторые из них почти на неделю [3]. Данные цифры ясно показывают, что ситуация с пожарами требует решения. Именно поэтому тематика среды моделирования была выбрана как лесные пожары.

Каждый выезд пожарные рискуют собой, выполняя при этом тяжелейшую работу. Пожарным было бы гораздо проще, если бы им помогали роботы, ведь робот не чувствует усталости, ему сложнее нанести температурный урон, также грузоподъемность робота для тушащей смеси намного выше человеческой. При этом роботы по одиночке вряд ли могут что-либо сделать, они должны работать сообща, как настоящие пожарные. Для реализации такого взаимодействия и направлена разработка данной среды. Исследование и разработка взаимодействия группы роботов в реальных условиях планируется далее.

В данной дипломной работе описано проектирование среды моделирования очагов лесных пожаров и роботов, действующих в этих условиях. Данная среда предназначена для обучения группы роботов тушить, а точнее, сдерживать распространение очага пожара. Обучение будет

происходить методами RL¹ (Обучения с подкреплением), это важно, так как данному методу требуется специальный интерфейс общения со средой.

Выбранная для реализации группового управления методология RL предполагает совершение большого количества действий агентом в некой среде. Это весьма проблематично практиковать на реальных физических объектах (робот в поле или в лесу), так как это требует ресурсов, контролируемого очага пожара и много попыток. Также реальное время сильно растянет обучение, роботы могут ломаться, очаг пожара может выйти из-под контроля и многое другое.

Создание среды именно для реализации обучения взаимодействию группы роботов в условиях тушения очагов лесных пожаров объясняется сложностью задачи, решаемой роботами. Чтобы решить крупномасштабную задачу, при этом действуя эффективно по времени и ресурсам, объединяются в группы и используют общие усилия. Так, управление группой стало одним из самых эффективных методов против сложных, а порой и невыполнимых в одиночку, задач. Групповое управление наиболее выражено в таких областях как: военное дело, геодезия, сельское хозяйство, пожаротушение, строительство, медицина и т.д.

Таким образом, среда призвана предобучить перед реальным миром группу роботов действовать сообща при тушении очагов без траты ресурсов и роботов на обучение.

Среда реализована на языке Python с использованием нескольких библиотек, таких как: NumPy [15] (математические операции), random [16] (пакет для работы с вероятностными распределениями), pygame [13]

¹ RL (англ. Reinforcement learning) – метод обучения искусственного интеллекта, основанный на совершении большого количества действий в некой среде и получении наград и штрафов, которые стимулируют и способствуют обучению достижения поставленной цели. Подобным методом можно назвать метод проб и ошибок.

(библиотека для работы с графикой), OpenGL [14] (библиотека для создания примитивов в буфере).

1 Обзор аналогов

1.1 OpenAI Gym

OpenAI Gym [4] – это большой сборник сред, большинство из которых представляют собой адаптированные под RL-интерфейс старые игры от компании Atari.



Рисунок 1 – Сборник сред OpenAI Gym

Среды в OpenAI Gym (рисунок 1) не имеют достаточной документации и возможности изменения под нужды разработчика, но их ассортимент позволяет тренироваться в решении самых разных задач.

Типы сред, поддерживаемые OpenAI:

- алгоритмы (имитация вычислений);
- Atari (на рисунке 2 приведена одна из сред Atari);

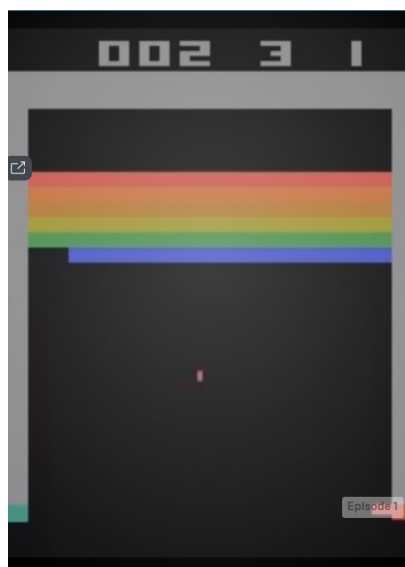


Рисунок 2 – Среда Atari «Breakout»

Преимущества:

- игровая реализация среды;

- низкая сложность обучения управляющей программы (в большинстве случаев, малое количество действий).

Недостатки:

- состояние, которое возвращает среда, является RGB-матрицей неудобно и накладывает некоторые сложности в извлечении полезной информации;
 - зачастую, отсутствие дизайна наград;
 - отсутствие документации;
 - неприменимость для реальных задач;
 - жесткое задание начальных данных.
- Vox2D (рисунок 3) – задачи управления в симуляторе Vox2D.



Рисунок 3 – Среда Vox2D «LunarLander»

Преимущества:

- хорошо реализованная физика в среде;
- простой дизайн наград.

Недостатки:

- RGB-матрица как состояние;
 - отсутствие документации.
- classic control (рисунок 4) – задачи теории управления из классической литературы RL;

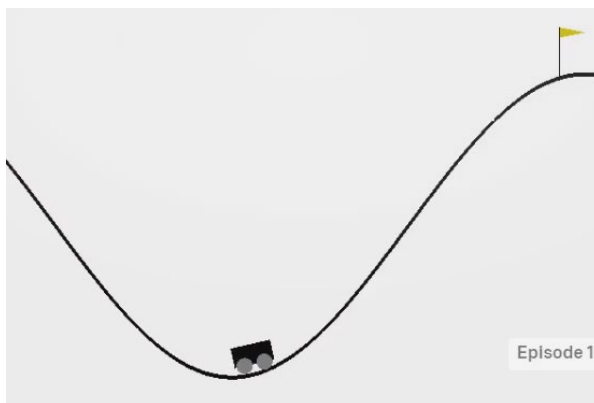


Рисунок 4 – Среда Classic control «MountainCar»

Преимущества:

- самые простые среды;
- простая реализация наград.

Недостатки:

- слишком высокий уровень абстракции;
 - отсутствие документации;
 - неприменимость для реальных задач.
- MuJoCo (рисунок 5) – задачи управления, запущенные в быстром физическом симуляторе;

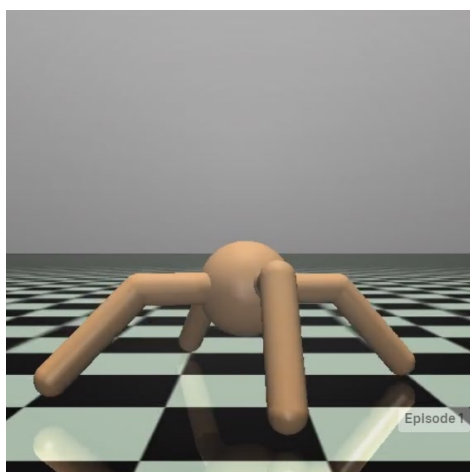


Рисунок 5 – Среда MuJoCo «Ant»

Преимущества:

- отличная реализация физики;
- отличное качество рендера.

Недостатки:

- необходимость приобретения лицензии;
- отсутствие документации;
- повышенная сложность обучения.

В связи с необходимостью приобретения лицензии больше недостатков и преимуществ привести не удастся.

- Robotics (рисунок 6) – имитация целевых задач для роботов Fetch и ShadowHand.

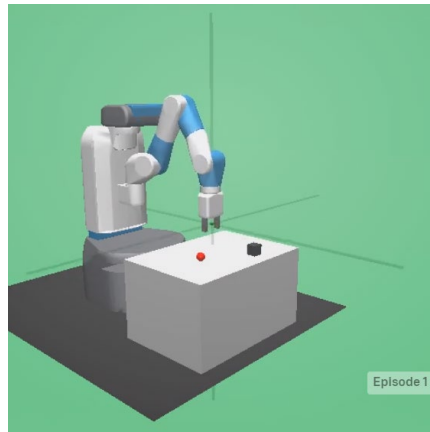


Рисунок 6 – Среда Robotics «FetchPickAndPlace»

Преимущества:

- отличная реализация физики;
- применимость для решения реальных задач;
- отличное качество рендера.

Недостатки:

- необходимость приобретения лицензии;
- отсутствие документации;
- повышенная сложность обучения.

В связи с необходимостью приобретения лицензии больше недостатков и преимуществ привести не удастся.

Основными недостатками OpenAi Gym являются:

- отсутствие сред, решающих жизненно важные проблемы реального мира (медицинские, военные, спасательные, пожарные и т.п.);

- отсутствие возможности анализа наград, полученных за совершенные действия агента;
- отсутствие сред, поддерживающих управление множеством агентов;
- у всех сред OpenAi gym плохая документация или вообще её отсутствие;
- использование некоторых категорий сред возможно только после приобретения лицензии (MuJoCo, Robotics);
- многие среды не могут быть запущены на ОС Windows.

1.2 Fenix+

Программа Fenix+ [18] — целостное решение, объединяющее в себе весь функционал, необходимый инженеру. На рисунке 7 изображен пример моделирования в программе Fenix+ с приведенными параметрами очага.

Для моделирования развития очага используется программа FDS (Fire Dynamics Simulator), разрабатываемая Национальным институтом стандартов и технологии (НИСТ/NIST) министерством торговли США при содействии Технического научно-исследовательского центра VTT.

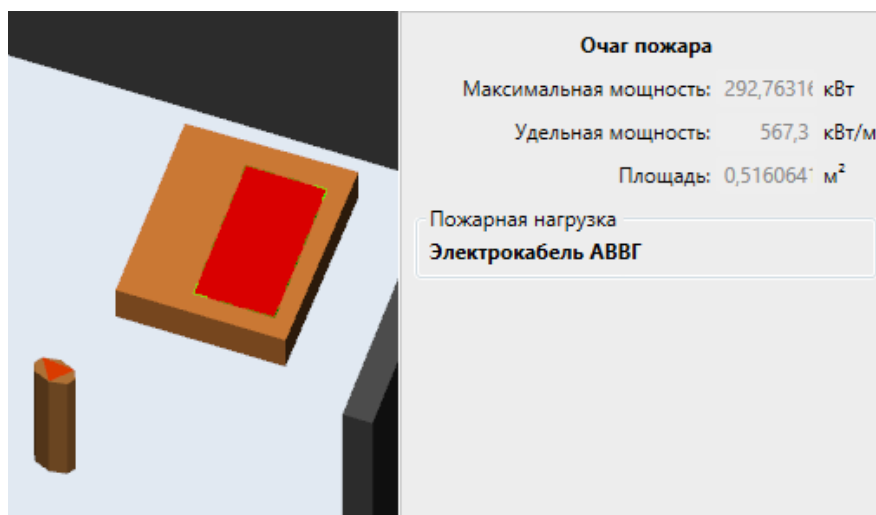


Рисунок 7 – Пример моделирования в среде

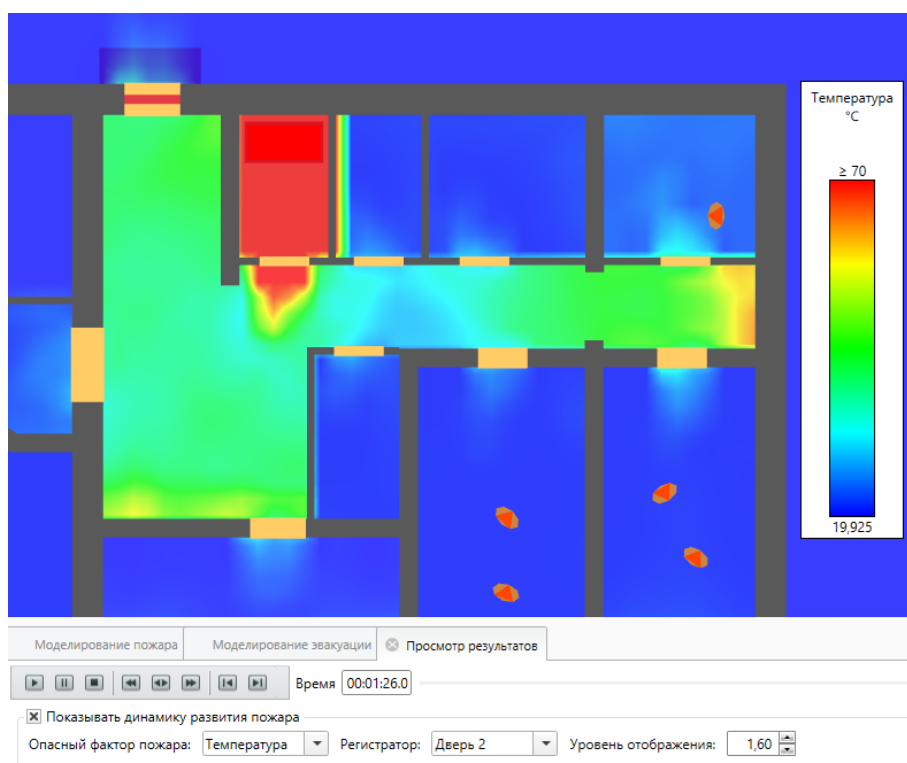


Рисунок 8 – Моделирование температурных полей

Инструмент позволяет визуально представить один выбранный опасный фактор пожара из следующих:

- температура (рисунок 8);
- видимость;
- концентрация кислорода;
- концентрация углекислого газа;
- концентрация угарного газа;
- концентрация HCl .

Преимущества:

- широкий спектр моделирования;
- возможность загружать свои 3d-модели и чертежи;
- подробная отчетность;
- возможность составления плана эвакуации.

Недостатки (с точки зрения среды для обучения с подкреплением):

- сложность интеграции;
- необходимость приобретения лицензии;

- отсутствует моделирование тушения.

1.3 FireTactics

Система моделирования развития и тушения очагов пожаров в зданиях FireTactics [19] — это программное средство, позволяющее создавать 3D модели фрагментов зданий (рисунок 9), а также инженерных сетей наружного противопожарного водоснабжения для отработки основных оперативно-тактических действий по тушению. Программа позволяет в режиме реального времени рассчитывать параметры пожара в здании, производить оценку параметров тушения пожара в зависимости от выбранного варианта расстановки сил и средств.

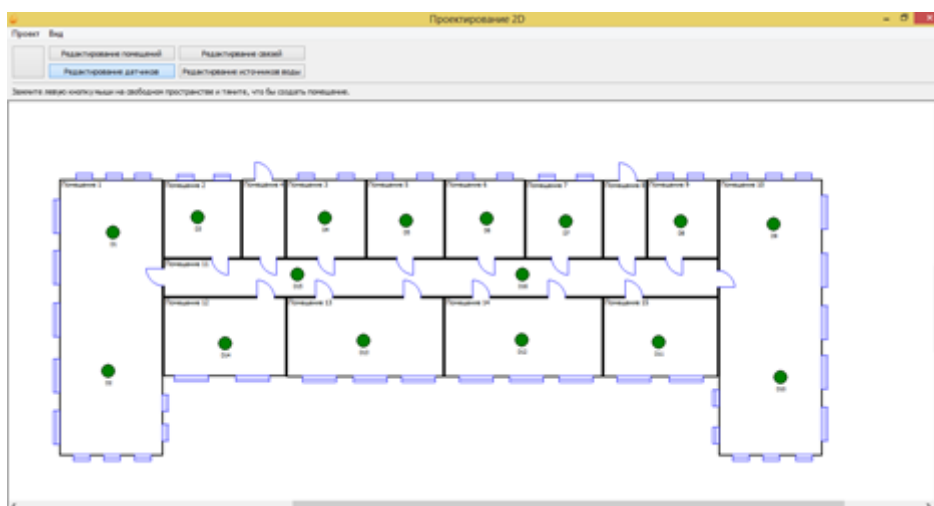


Рисунок 9 – Общий вид программы

Преимущества:

- возможность изменения параметров пожара в реальном времени;
- возможность использования бесплатно;
- работа с базой данных;
- возможность вывода подробного отчета.

Недостатки:

- невозможность моделирования лесных и степных пожаров;
- отсутствие ветра;

- невозможность интеграции во внутренние процессы.

1.4 Оценочная карта

Проведём сравнительный анализ представленных аналогов. Для этого, определим важные позиции, по которым и следует сравнивать программы. Составим оценочную карту (таблица 1) и определим соответствующие баллы.

Таблица 1 – Оценочная карта сред моделирования пожара

Программа	Качество моделирования пожара	Возможность получения внутренних данных	Возможность варьировать условия пожара	Простота использования (интеграции)	Итого
<i>Одна из OpenAi</i>	0	8	0	8	16
<i>Fenix+</i>	10	1	10	7	28
<i>FireTactics</i>	7	1	7	6	21

Исходя из баллов, распределенных в таблице 1, можно сделать вывод, что по моделированию очага пожара необходимо стремиться к Fenix+, но может получиться так, что избыточность детализации и усложнения поведения очага приведет к плохим результатам обучения. В плане организации среды стоит стремиться к средам из OpenAi Gym. На данный момент нет сред, сочетающих моделирование распространения очага пожара и организации интерфейса, подходящего под обучение с подкреплением. Этот вывод позволяет поставить задачу на разработку.

2 Задачи

2.1 Глобальная задача

Реализовать среду имитирования распространения очага пожара, а также его тушения группой роботов с учетом их ресурсов и дополнительных параметров среды (например, ветер).

Задача будет решаться с адаптацией интерфейса под реализацию RL алгоритма. Оценим круг возможных локальных подзадач, которые необходимо решить в ходе разработки среды.

2.2 Локальные задачи

- Разработать модель распространения очага пожара.
- Разработать агента в среде и его набор действий.
- Реализовать взаимодействие агентов друг с другом и с очагом пожара.
- Реализовать рендер среды.
- Провести дизайн наград.
- Реализовать интерфейс взаимодействия управляющей программы со средой в формате агента RL.
- Реализовать дополнительные инструменты для удобства работы со средой, такие как, просмотр составляющих награды, отключение визуализации, смена режима работы с группового на одиночный.

3 Разработка среды

3.1 Структура

Устоявшийся интерфейс в RL [5] между управляющей программой и средой состоит из:

- награды за выполненное агентом² действие – число, характеризующее эффект на достижение цели сделанным действием. Может быть положительной – действие приблизило нас к желаемой цели, отрицательной – действие вредит достижению цели. На основе награды и состояния среды обучается управляющая программа;
- состояние среды – это набор параметров, которые так или иначе могут нести какой-либо эффект на конечное решение в выборе дальнейшего действия агента. Здесь могут быть как координаты, так и ресурсы, показания датчиков. Чаще всего возвращаемое состояние среды нормализуют (для лучшего обучения нейросети);
- флаг завершения эпизода – показывает управляющей программе, что дальнейшие действия бессмысленны и нужно начинать новый эпизод.

Таким образом, управляющая программа должна общаться с сущностью, владеющей информацией о всех объектах в среде (некой оболочкой для всего внутри), назовем это, непосредственно средой. Удобнее всего будет организовать ООП³ структуру, так как объектов может быть много, при этом у каждого будут свои значения параметров. Далее под компонентами среды, очага пожара и т.п. будут пониматься классы (или объекты, в зависимости от контекста) названных составляющих.

² Агент в среде выступает как субъект, имеющий набор действий и цель, к которой необходимо прийти.

³ ООП (объектно-ориентированное программирование) – парадигма разработки и организации структуры приложений, основанная на создании объектов и классов со своими свойствами и методами.

Среда (речь уже идёт об оболочке, см. параграф выше) управляет всем происходящим, начиная от совершения действий агентов, разгорания пожара, кончая рендером графической части. Таким образом, разработчик управляющей программы имеет доступ только к свойствам и методам среды, но не к роботам или пожару. Он может получить информацию о них только через методы среды. Такая структура (рисунок 10) упрощает работу по сохранению целостности и иммутабельности данных, масштабированию среды и написанию документации к ней. В должен быть реализован ряд доступных разработчику методов, таких как:

- сброс состояния среды;
- совершение шага;
- включение одиночного режима;
- выключение рендера среды;
- проверка режима функционирования;
- включение диагностики наград агента.

Сама среда, как было сказано ранее, состоит из пожара и агентов (роботов). Это 2 отдельные группы объектов, которые могут взаимодействовать между собой.

Рассмотрим кратко структуру каждого по-отдельности:

1. очаг пожара состоит из точек, расставленных по периметру, назовем их точками огня. Влияние агентов на очаг сводится к взаимодействию с точками огня. Для каждого очага генерируются свои точки огня и каждый очаг пожара управляет/передвигает только свои точки;
2. агент (робот) задается 5 парами координат (точками): 4 угла (прямоугольника) и центр, откуда он может производить тушение. Каждый агент имеет одинаковый конечный набор действий (например, повернуться направо на 5 градусов), ресурсов тушащей жидкости и энергии.

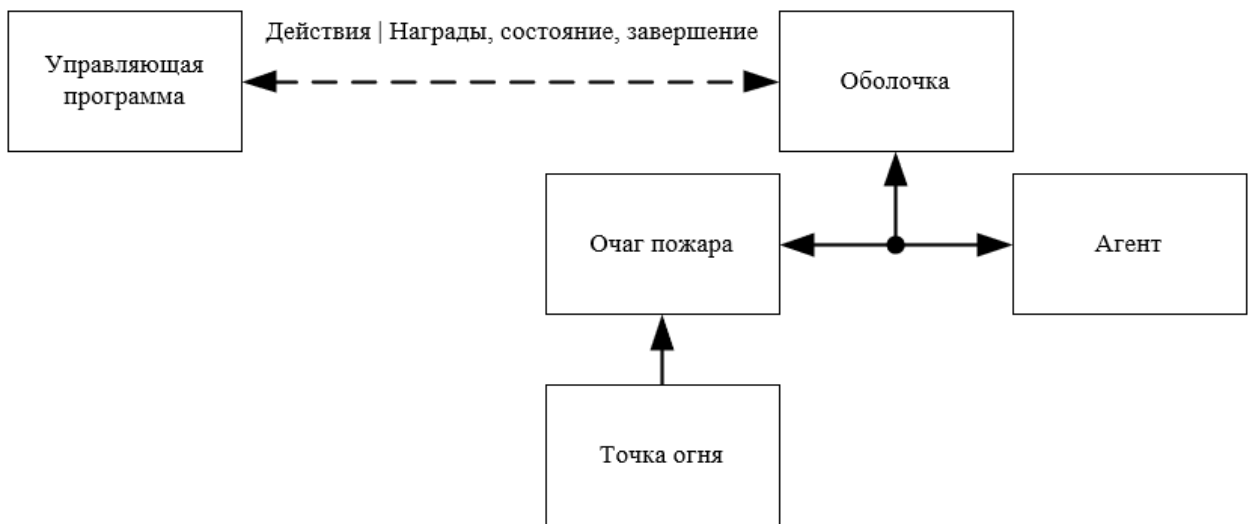


Рисунок 10 – Структура среды

Далее рассмотрим каждый компонент детальнее. Общий алгоритм взаимодействия со средой представлен на рисунке 11. Здесь основная работа среды заключена в подпрограмму. Именно в этом блоке выполняются все вычисления, рендер и расчет наград и штрафов (всё это будет рассмотрено далее). Остальную работу в алгоритме выполняет управляющая программа.

Особое значение в данной работе имеет совершение шага агентом и все сопутствующие с этим операции, например, расчет наград и штрафов или составление состояния среды. Рассмотрим дерево вызовов совершения шага агентом, изображенное на рисунке 12.

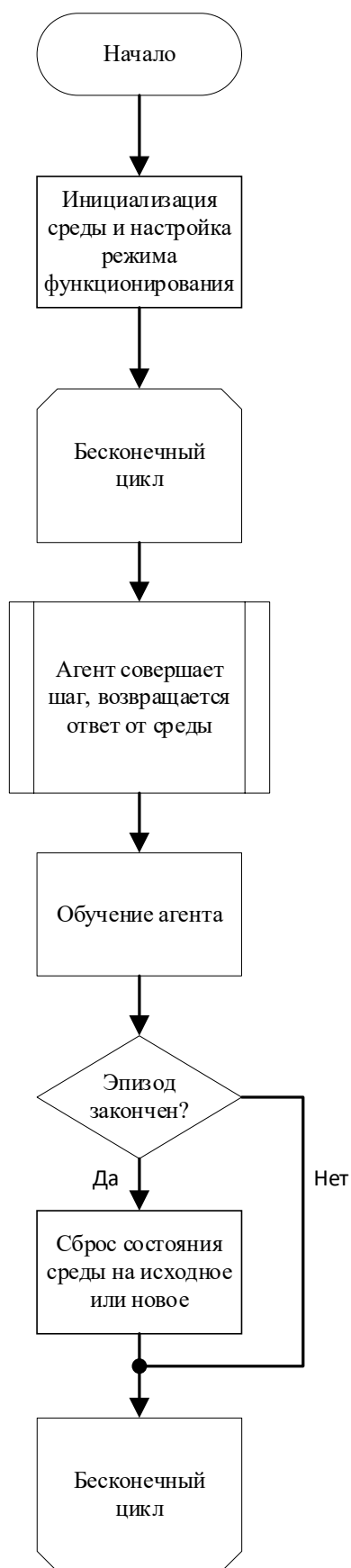


Рисунок 11 – Блок-схема примера взаимодействия со средой

Как видно из дерева вызовов на рисунке 12, совершение шага начинается со сброса имеющегося состояния с прошлого шага, чтобы исключить возможность смешивания данных. Затем в зависимости от того, в каком режиме работает среда (в режиме группового управления или одиночном), совершается переданное среде управляющей программой действие, соответственно, рассчитывается награда и обновляются внутренние состояния объектов, например, было ли столкновение роботов или попадание в пожар, также обновляются все значения ресурсов. После каждого действия производится проверка на необходимость завершения эпизода, от этого зависит правильное обучение агента. После того, как все данные агентов и очага изменены с учетом совершенного действия, необходимо составить для ответа управляющей программе состояние среды. Здесь всё начинается с нормирования и поочередного складывания значений друг за другом точек огня, лежащих на фронте распространения пожара. От каждой точки предоставляется её координаты и очки горения, также производится проверка на необходимость завершения эпизода, основанная на состоянии всех точек огня во фронте (все ли потушены). После составления состояния очага пожара, очередь наступает за роботами. Здесь от каждого робота, состояние попадают: координаты корпуса, его направление и ресурсы энергии и тушащего вещества. На данном этапе ответ для управляющей программы составлен и осталось выполнить несколько функций, касающихся непосредственного функционирования среды. Рендер происходит следующим образом – сначала очищается окно (соответственно, и буфер, отображаемый в окне), затем поочередно в скрытый буфер (буферов для отображения 2, это сделано с целью исключения дерганий картинки) добавляются примитивы, отвечающие за отображение пожара и роботов, после того, как буфер сформирован, буферы меняются местами, и пользователь видит актуальное состояние среды. Затем происходит распространение очага пожара, на этом этапе пересчитываются координаты

всех точек огня и их очки горения, после сбрасываются все внутренние состояния, например, тушится ли точка, было ли столкновение и т.д. Заключительным действием в функции совершения шага является возвращение собранного ответа управляющей программе.

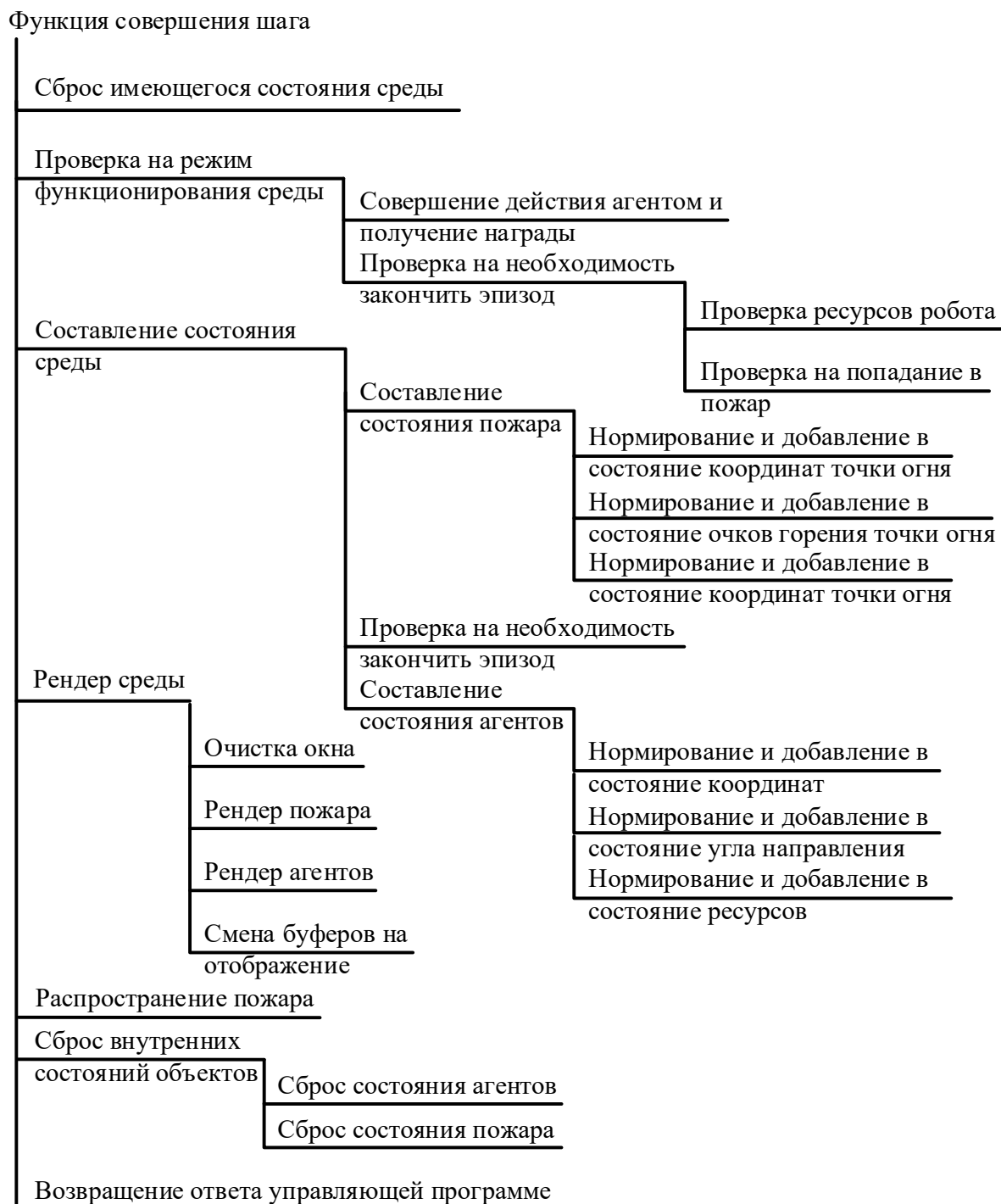


Рисунок 12 – Дерево вызовов функции совершения шага в среде

3.2 Очаг пожара

Чтобы смоделировать очаг пожара, необходимо позаботиться о нескольких отдельных моментах. Моделирование каждого из них и составит модель распространения очага. Рассмотрим составляющие поведения очага пожара:

- распространение – передвижение точек огня (зависит от ветра и других параметров, рассмотрим далее);
- реакция на тушение от агента;
- реализация выгорания и тления;

к тому же, в классе пожара нужны и другие вспомогательные методы, позволяющие проводить необходимые вычисления и операции с точками огня.

Изначально, совместно с консультантом, было решено организовать форму пожара как последовательность трапеций с общими сторонами. Такой подход упростил бы вычисления, связанные с расчетом площади и периметра очага, также упростил бы механизм расширения, грубо говоря, необходимо было бы создавать по 2 вертикально расположенные точки. Именно такой подход использовался некоторое время при разработке, но при последующих обсуждениях и демонстрациях, научный руководитель настаивал на пересмотре принципа моделирования распространения. Поэтому, было принято решение оставить первоначальный алгоритм генерации точек огня в начальный момент, а дальнейшее распространение переработать. Форма очага в начальный момент времени генерируется случайным образом в указанном разработчиком направлении и с указанного места. Точки огня расставляются попарно на плоскости по простым мною составленным формулам:

$$x_{i,i+1} = x_0 + step \cdot i,$$

$$y_{i,i+1} = y_0 + \operatorname{tg} \alpha \cdot step \pm rand,$$

$$i = 2 \cdot n - 1,$$

где x_0 и y_0 – начальные координаты очага;
 $step$ – шаг распространения очагов;
 α – направление генерации;
 $rand$ – случайная величина по распределению Гаусса (для y_i и y_{i+1} значения $rand$ разные);
 n – натуральное число.

В итоге получается очаг с произвольной формой с определенной продолжительностью и положением.

3.2.1 Распространение очага пожара

Научный руководитель предложил моделировать распространение очага с помощью векторов воздействий, влияющих в той или иной мере. Таким образом, был определен ряд векторов, действующих на каждую точку огня (рисунок 13), и формул их расчета, исходя из собственных соображений и помощи руководителей. Рассмотрим их подробнее:

- главным фактором в распространении очага пожара был определен ветер \vec{W} – он имеет одно направление и длину для всех точек в среде. Именно эта составляющая будет влиять на действия роботов и на то, где они должны будут сдерживать фронт. Направление и длина (сила действия ветра) вектора могут указываться разработчиком управляющей программы (далее разработчиком) при инициализации среды, в противном случае, ветер (сила и направление) будет задан случайным образом в заранее подобранном диапазоне. Примем допущение, что ветер является неизменным для среды на протяжении всего времени существования очага, то есть, его можно изменить только при сбросе среды, передав в метод соответствующие параметры;

– не стоит забывать и про природу огня, который распространяется сам по себе, отсюда был определен следующий вектор воздействия – разгорание \vec{B} . Было 2 варианта реализации разгорания, оба были завязаны на расстоянии точки огня до центра очага, но первый был основан на направлении от центра огня, второй же отличался тем, что направление выбиралось по нормали к соседним точкам огня. После обсуждений и споров с консультантом и руководителем, был выбран второй вариант, являющийся более сложным в техническом плане, но более реалистичным в поведении очага. В данном методе вектор определяется для каждой точки индивидуально:

1. определяются соседние точки огня, при этом берутся только действующие (не тлеющие);
2. определяется направление нормали, ориентированное из очага наружу, к прямой, проведенной через найденные в п. 1 точки огня;
3. вычисляется расстояние от центра очага до точки огня *dist* (центр очага пожара находится средним арифметическим координат всех точек огня);
4. вычисляется $|\vec{B}|$ по мною составленной формуле (из соображений желаемых зависимостей и эффектов отдельных компонентов). Необходимо было учесть то, насколько «горяча» еще точка, от этого, как по мне, зависит скорость распространения в этом месте, а так как значения начальных очков горения могут меняться и конкретные значения не несут никакого смысла, было принято решение о нормировании всех подобных составляющих и в последующих формулах. Полученный нормированный коэффициент является масштабом для постоянного значения скорости разгорания. Формула по структуре составлена таким образом, чтобы базой

для длины вектора являлись описанные составляющие. В ходе испытаний работоспособности данной формулы, стало ясно, что зависимость от расстояния должна присутствовать обязательно, ибо точки путались внутри пожара, а форма очага не нормализовалась из случайно сгенерированной, к тому же, по моим суждениям, эта составляющая ни коим образом не должна была влиять на уже имеющуюся от «жара», потому она была включена как дополнение, причем отмасштабированная под скорость разгорания, о коей шла речь ранее, наличие составляющей вектора ветра будет объяснено чуть позднее. Таким образом, формула расчета длины вектора разгорания \vec{B} зависит и от очков горения и от удаленности от центра очага пожара (также от силы ветра) получилась:

$$|\vec{B}| = (\gamma + 1) \cdot \left(\frac{burnTime}{max\ burnTime} \cdot burnRate + \frac{|\vec{W}|}{2} \right), \quad (1)$$

где $\gamma = \frac{\max\ dist}{dist} \cdot burnRate$ – составляющая (формула была составлена мной из соображений добавления зависимости удаления точки от центра очага), необходимая для стремления очага выровнять форму, как это произошло бы с реальным пожаром;

burnTime – очки горения точки огня (присутствуют у каждой точки огня и характеризуют оставшееся «время жизни» точки);

dist – расстояние от точки огня до центра очага пожара;

burnRate – степень влияния очков горения на скорость разгорания (задавалась при разработке среды);

max burnTime – начальное и максимальное значение очков горения точек, которое составляет 3000 единиц.

При такой организации расчета, наибольшую скорость получают точки с самыми высокими очками горения (самые «горячие») и находящиеся наиболее близко к центру.

Вектор \vec{B} ориентирован по нормали, найденной в п. 2.

- Последней составляющей стал вектор тушения \vec{E} – он призван внести лучшее взаимодействие робота с пожаром, так, чтобы учитывалось воздействию струи, ведь в реальности пожарные нередко могут просто сбить огонь на несколько метров силой струи тушащей жидкости. В среде этот вектор должен возникать при воздействии агентом на точку огня (при тушении), при этом направление вектора должно совпадать с направлением тушащего робота. Длина вектора, по здравому смыслу, должна зависеть от того, насколько точно робот попал струёй в точку огня, другими словами, если робот зацепил всего краем струи, сильно ничего поменаться не должно, но, если ему удалось попасть точно струёй, на точку огня должно оказываться сильное воздействие. Таким образом, вектор высчитывается как (формула была получена мной из-за необходимости адаптации воздействия струи при изменении ветра):

$$|\vec{E}| = effort \cdot \left(1 + \frac{|\vec{W}|}{3}\right), \quad (2)$$

где

$$effort = 1 - \frac{range - disabled\ range}{max\ range - disabled\ range} \quad (3)$$

– степень воздействия непосредственно агента на точку огня (формула была составлен на подобие КПД теплового двигателя [17]), попавшую в область тушения;

range – расстояние от центра робота до точки огня;

disabled range – расстояние от центра робота до его переднего края (область, недоступная для тушения, она может

быть обусловлена как корпусом робота, так и техническими возможностями ствола);

$\max range$ – максимальная дальность тушения агента (задавалась при разработке среды).

В такой реализации поверхности одинакового воздействия будут распространяться радиально, а максимальным воздействием будет «в упор», это добавляет необходимость поиска баланса между эффективностью тушения и безопасным расстоянием до пожара.

В ходе испытаний было замечено, что при сильном увеличении ветра, она начинала сдувать весь очаг, включая то, что уже было окутано огнем. Данное поведение является крайне нежелательным и мной было принято решение – ввести в зависимости формул силу ветра (длину вектора ветра \vec{W}). Это неправильно, с точки зрения семантики формулы, но это позволило добиться более реалистичного поведения очага при любом ветре. Коэффициенты уменьшения силы ветра в формулах были подобраны экспериментально.

Таким образом, результирующий вектор \vec{R} складывается из 3 составляющих (рисунок 13):

$$\vec{R} = \vec{W} + \vec{E} + \vec{B}.$$

Данная формула делает возможным ситуацию, когда при воздействии на точку огня сумма векторов оказывается равна 0, и точка останавливается в струе тушения, это цель каждого робота – сдержать, и при таких условиях потушить будет легче. Следует отметить, что для того, чтобы точка остановилась, тушащая струя должна действовать точно в направлении, обратном распространению точки огня, что при успешном обучении агентов, скажется в реальности в положительную сторону. В дополнение, научный руководитель выдвигал идею добавления еще одного вектора, зависящего от местности, то есть он мог помочь смоделировать различные объекты, такие как озеро, дорога, болота и т.д. Данная составляющая будет добавлена в

будущем, так как сначала принято решения запуска на более простом варианте. Алгоритм моделирования разгорания, описанный выше, представлен в качестве блок-схемы на рисунке 14.

Долго не удавалось решить, как организовать тлеющие точки с технической и не только сторон, и остановился на простом решении, что если точка становится тлеющей (то есть, если иссякли её очки горения *burnTime*), вектор \vec{R} зануляется.

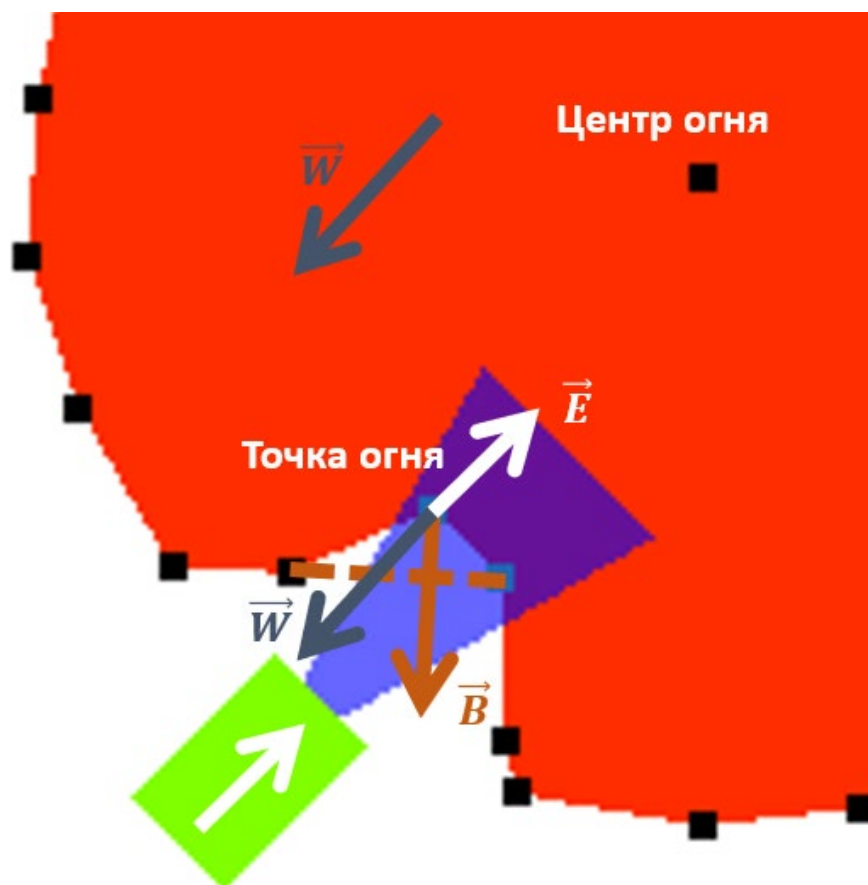


Рисунок 13 – Пример действующих векторов на точку огня

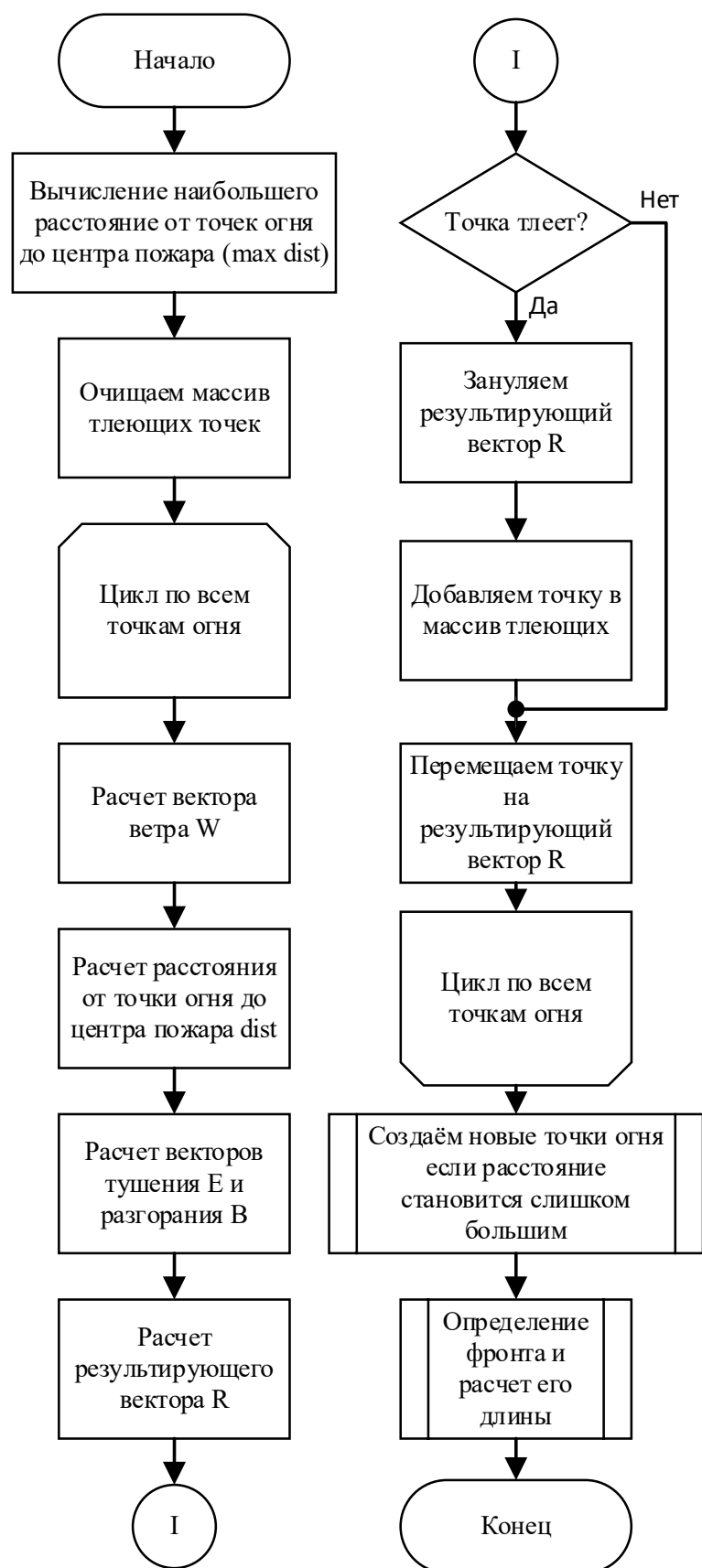


Рисунок 14 – Блок-схема алгоритма моделирования разгорания очага пожара

В ходе испытаний было замечено, что по мере разгорания расстояние между точками огня увеличивается так, что агенту становится затруднительно попадать по ним, к тому же нарушается идея организации границы очага точками огня. Поэтому, когда расстояние между точками в паре превышает максимальное (зафиксированное в момент генерации пожара), было решено между ними (посередине) создавать точку с большими из пары очками горения. При этом, если в паре имеется тлеющая точка и расстояние между точками превышает максимальное, то точка создается так, что делит отрезок в соотношении 3:1 (ближе к горящей точке). Алгоритм представлен на рисунке 15.

При добавлении новых точек используются следующие составленные формулы:

$$x = \frac{x_1 \cdot a_1 + x_2 \cdot a_2}{x_1 + x_2}, \quad (4)$$

$$y = \frac{y_1 \cdot a_1 + y_2 \cdot a_2}{y_1 + y_2}, \quad (5)$$

где x_1, y_1 и x_2, y_2 – пары координат 1 и 2й точек, соответственно. В случае, если первая точка является тлеющей, новая пара координат x, y рассчитывается ближе к горящей, то есть принимаются соответствующие коэффициенты $a_1 = 0,5$ и $a_2 = 1,5$. В случае со второй тлеющей точкой, коэффициенты меняются значениями.

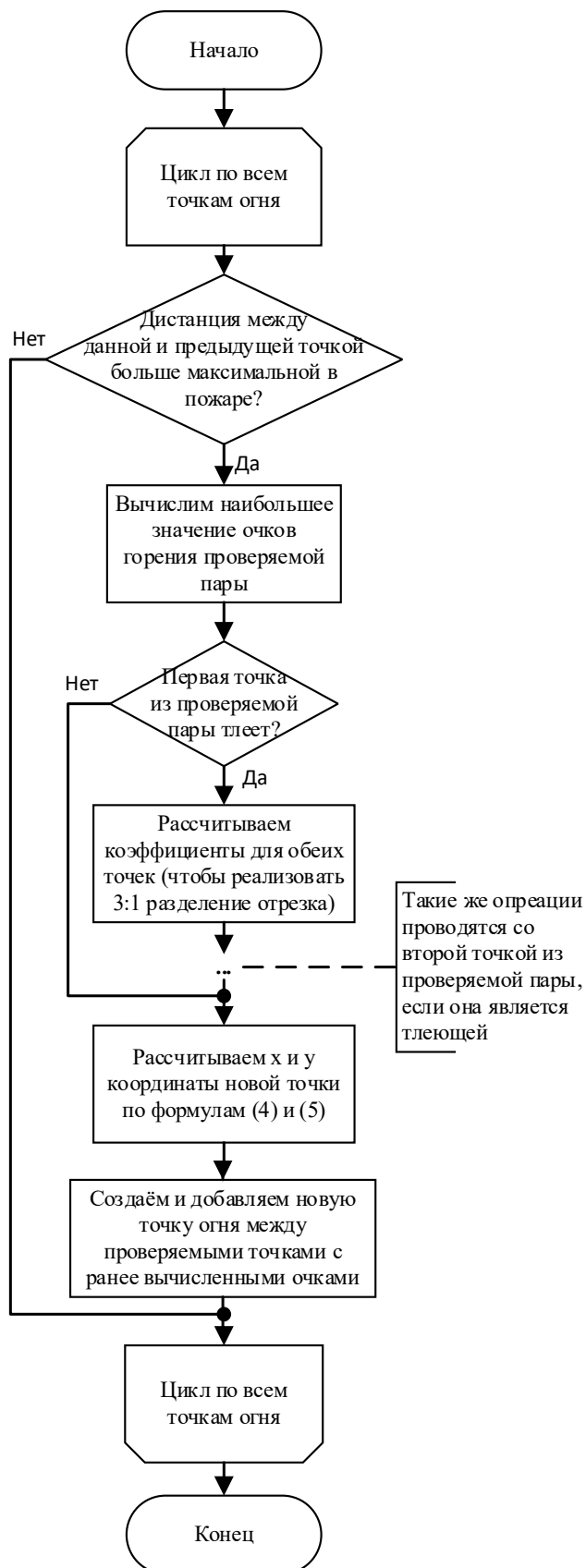


Рисунок 15 – Блок-схема алгоритма добавления новых точек огня

На рисунке 14 присутствует блок определения фронта. Здесь происходит важная работа с точки зрения наград и самого обучения нейросети управляющей программы. Чтобы вектор состояния среды имел одну размерность, вместо всех точек берутся данные только самых важных (с точки зрения тушения) – точек фронта очага пожара. В качестве фронта выбираются по 3 самые быстрые точки в пожаре на каждого робота. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 16.

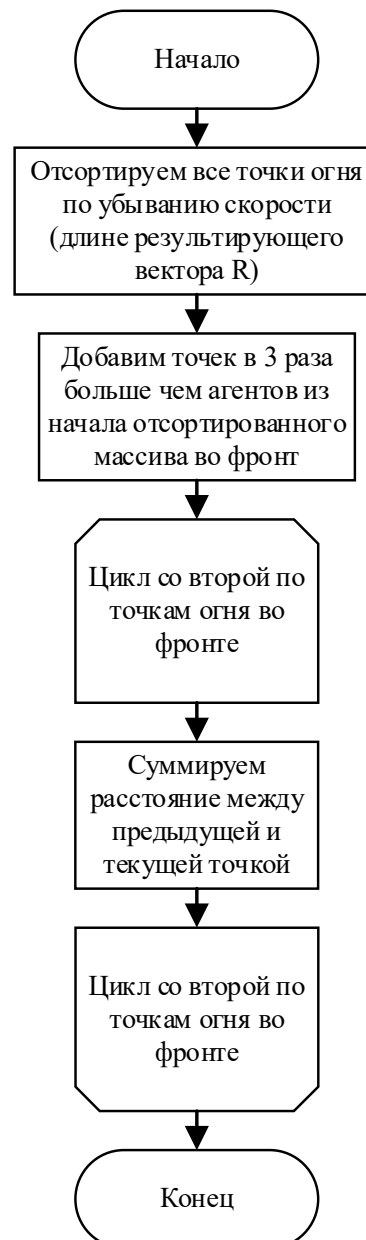


Рисунок 16 – Блок-схема алгоритма составления фронта очага пожара

Для наглядности, такой принцип моделирования делает возможным следующие ситуации:

- робот может остановить точку огня тушащей струей, так как силы могут уравниваться;
- если робот остановит только одну точку огня, то соседние охватят его, как это бы происходило при взаимодействии с реальным пожаром;
- при очень сильном ветре робот не сможет остановить точку огня и ему придется отступать;
- роботы могут сдерживать распространение фронта огня, если их тушащие области будут образовывать единый тушащий фронт.

3.2.2 Реакция на тушение от агента

Когда управляющая программа выбирает для агента действие тушения, создается треугольная область как на рисунке 13. Далее производится проверка всех точек огня на попадание в область.

На рисунке 17 присутствует функция определения стороны нахождения точки относительно области тушения, она основана на выводе из канонического уравнения прямой, проходящей через 2 точки, то есть формуле (6) [6] и последующем подставлении проверяемых координат в уравнение:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}, \quad (6)$$

$$x \cdot (y_2 - y_1) - y \cdot (x_2 - x_1) = x_1 \cdot (y_2 - y_1) - y_1 \cdot (x_2 - x_1),$$

$$side = x \cdot (y_2 - y_1) + y \cdot (x_1 - x_2) + y_1 \cdot x_2 - x_1 \cdot y_2.$$

Именно по $\text{sign } side$ определяется принадлежность области тушения.

На все точки огня, оказавшиеся в этой области, записывается воздействие (оно было рассмотрено ранее в векторе тушения в формуле (3)), равное

$$\Delta_{burningTime} = 100 \cdot effort. \quad (7)$$

Это воздействие отнимается от очков горения точки огня *burnTime*, и по формуле (1), она становится медленнее при разгорании, так реализована механика тушения.

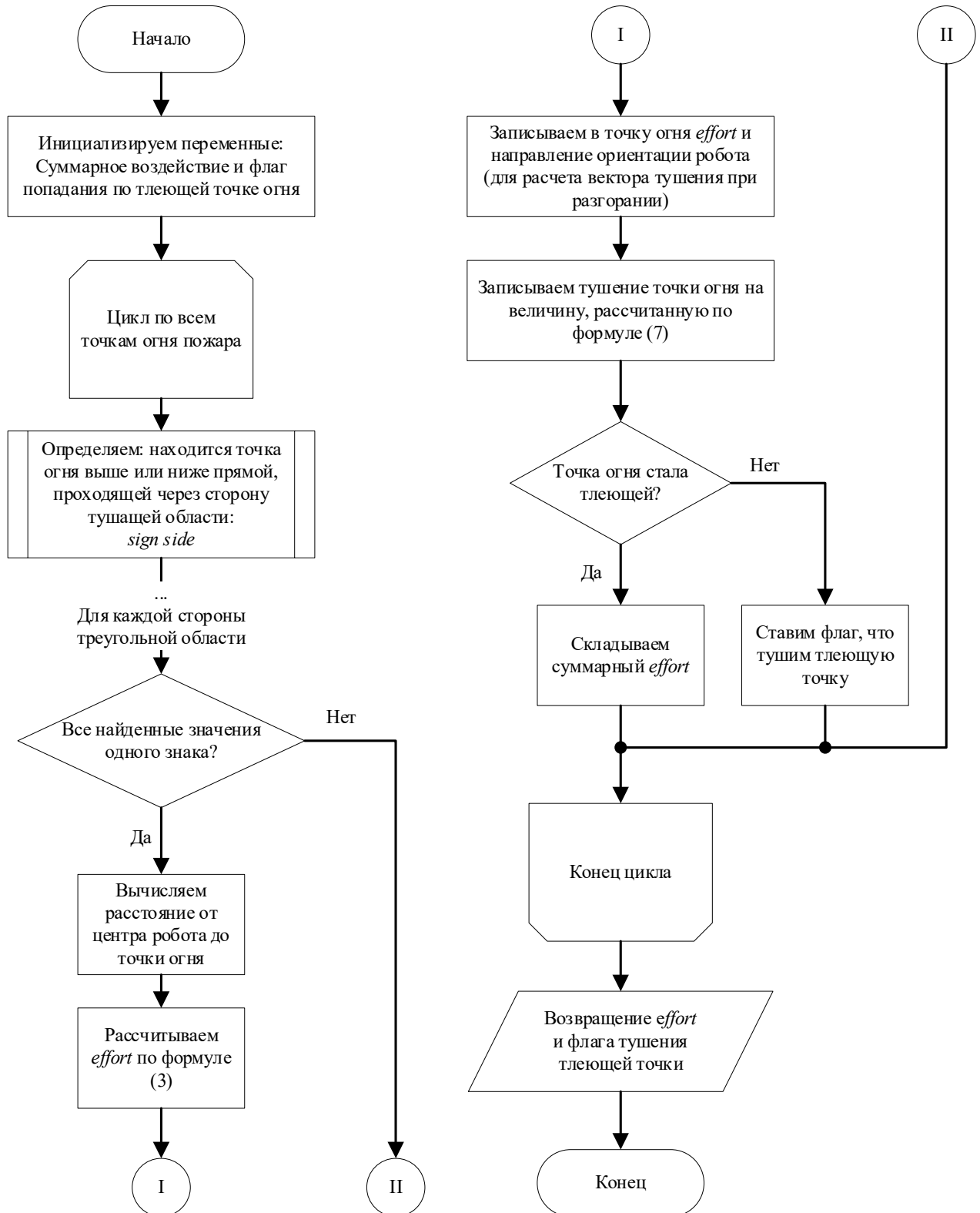


Рисунок 17 – Блок-схема алгоритма попадания точки огня в зону тушения

3.2.3 Реализация выгорания и тления

Если при тушении или выгорании очки горения точки заканчиваются (равны 0), точка считается тлеющей.

Тлеющая точка – точка, температура которой все еще остаётся опасной для робота или человека, но распространение очага в этом месте уже не происходит. Подобно реальному пожару, каждый отсчет времени (или ход группы агентов) каждая точка огня теряет небольшую часть очков горения, таким образом, пожар может потухнуть сам, но при этом сжечь огромную область. Без тушения точка потухнет через 60 000 шагов, за это время ветер увеличит площадь очага в разы, чего управляющая программа допускать не должна.

Если точка стала тлеющей, она не может заново загореться и не может передвигаться, а дальнейшее её тушение является бесполезным, даже убыточным (это отражено в штрафах).

3.3 Агент

Как было сказано ранее, робот определяется 6 величинами – 4 вершины прямоугольника, точка его центра и направление движения, также робот имеет ресурсы:

- тушащая жидкость в размере 500 единиц;
- энергия 750 единиц.

Действия агентов определены, конечны и дискретизированы:

1. стоять на месте;
2. проехать вперед на $\frac{2}{3}$ корпуса;
3. отъехать назад на $\frac{2}{3}$ корпуса;
4. повернуться направо на 10 градусов;
5. повернуться налево на 10 градусов;
6. тушить.

Рассмотрим алгоритм совершения действия агентом, представленного на рисунке 18.

Все перемещения реализованы с помощью одного инструмента – матрицы поворота [7] (выражение перемещения и поворота в одной формуле составлено мной с использованием указанной матрицы) с переносом центральной точки робота:

$$(x_i \quad y_i) = (x_i - x_c \quad y_i - y_c) \times \begin{pmatrix} \cos(\Delta\alpha) & -\sin(\Delta\alpha) \\ \sin(\Delta\alpha) & \cos(\Delta\alpha) \end{pmatrix} + (x_c \quad y_c), \quad (8)$$

где x_i, y_i – координаты углов корпуса робота;

x_c, y_c – координаты центра робота;

$\Delta\alpha$ – угол изменения направления движения.

Здесь для простого перемещения сначала отнимаются старые координаты центра робота, а прибавляются новые, вычисленные с помощью тригонометрии.

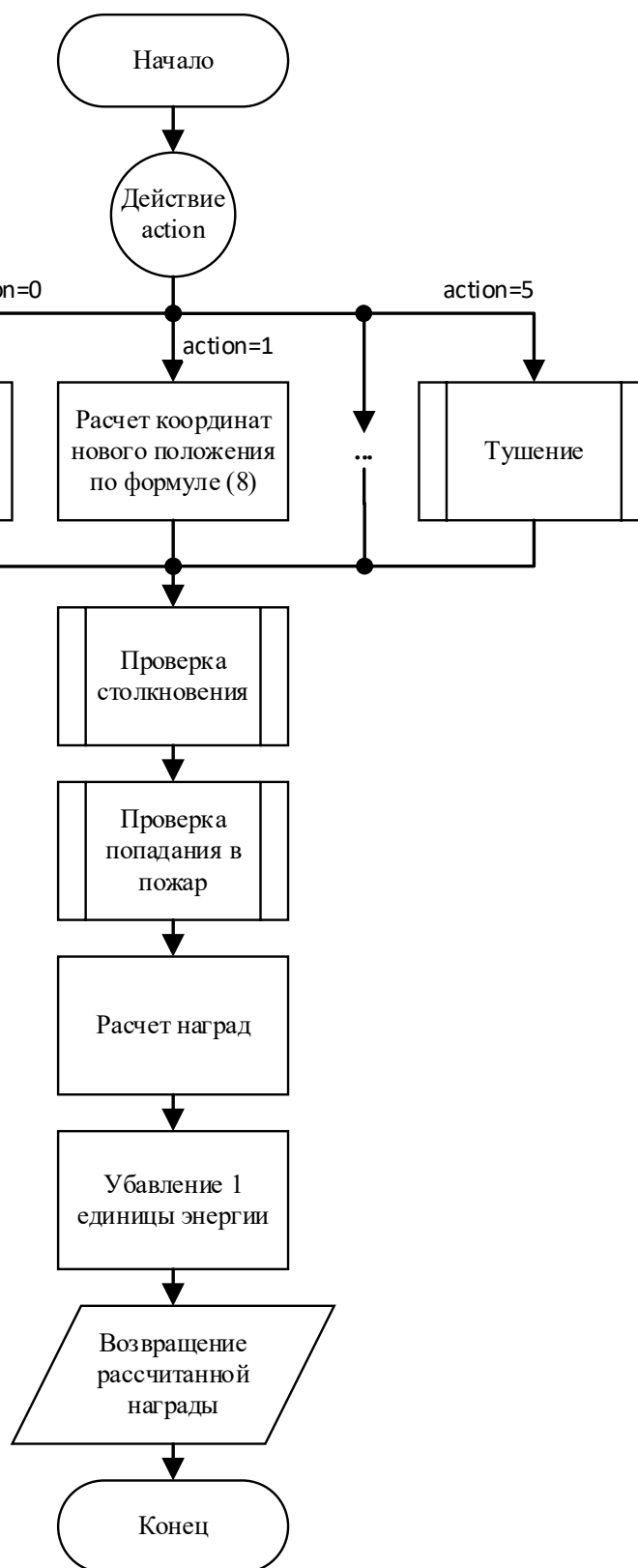


Рисунок 18 – Блок-схема алгоритма совершения действия агентом

На рисунке 18 присутствует подпрограмма тушения, которая в основном отражена выше на рисунке 17. В данной части происходит подготовка для корректной работы указанного алгоритма, определяются

необходимые координаты зоны тушения. В общем, тушение создаёт треугольную область перед роботом определенного на стадии разработки размера. Каждое действие тушения расходует 1 единицу тушащей жидкости. По истечению какого-либо из ресурсов у роботов, а также после попадания в огонь, эпизод считается завершенным.

Все действия, за исключением «стоять на месте», расходуют 1 единицу энергии («стоять на месте» не расходует ничего). Таким образом, роботы ограничены в совершении шагов, это необходимо по 2 причинам:

1. научить агентов действовать эффективно с точки зрения расхода энергии;
2. при неправильных действиях агентов эпизод будет иметь конец.

3.3.1 Алгоритм регистрации столкновения

После любого действия следует проверка на попадание в пожар и столкновение. Проверка на столкновение основана на сравнении координат точек, находящихся на одной Y-координате, лежащих на сторонах проверяемого робота. Алгоритм показан на рисунке 19. Здесь присутствует блок подпрограммы, где выполняются следующие вычисления:

1. Для уравнения прямой $y = k \cdot x + b$ [8] находим k и b :

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}, \quad (9)$$

$$y = x_1 - y_1 \cdot k. \quad (10)$$

2. На основе найденных коэффициентов находится X-координата точки, лежащей на этом отрезке, при Y-координате проверяемого угла:

$$x = \frac{y_{\text{угла}} - b}{k}.$$

3. Пункты 1 и 2 проделываются и для второй пары точек (для второй стороны проверяемого робота).

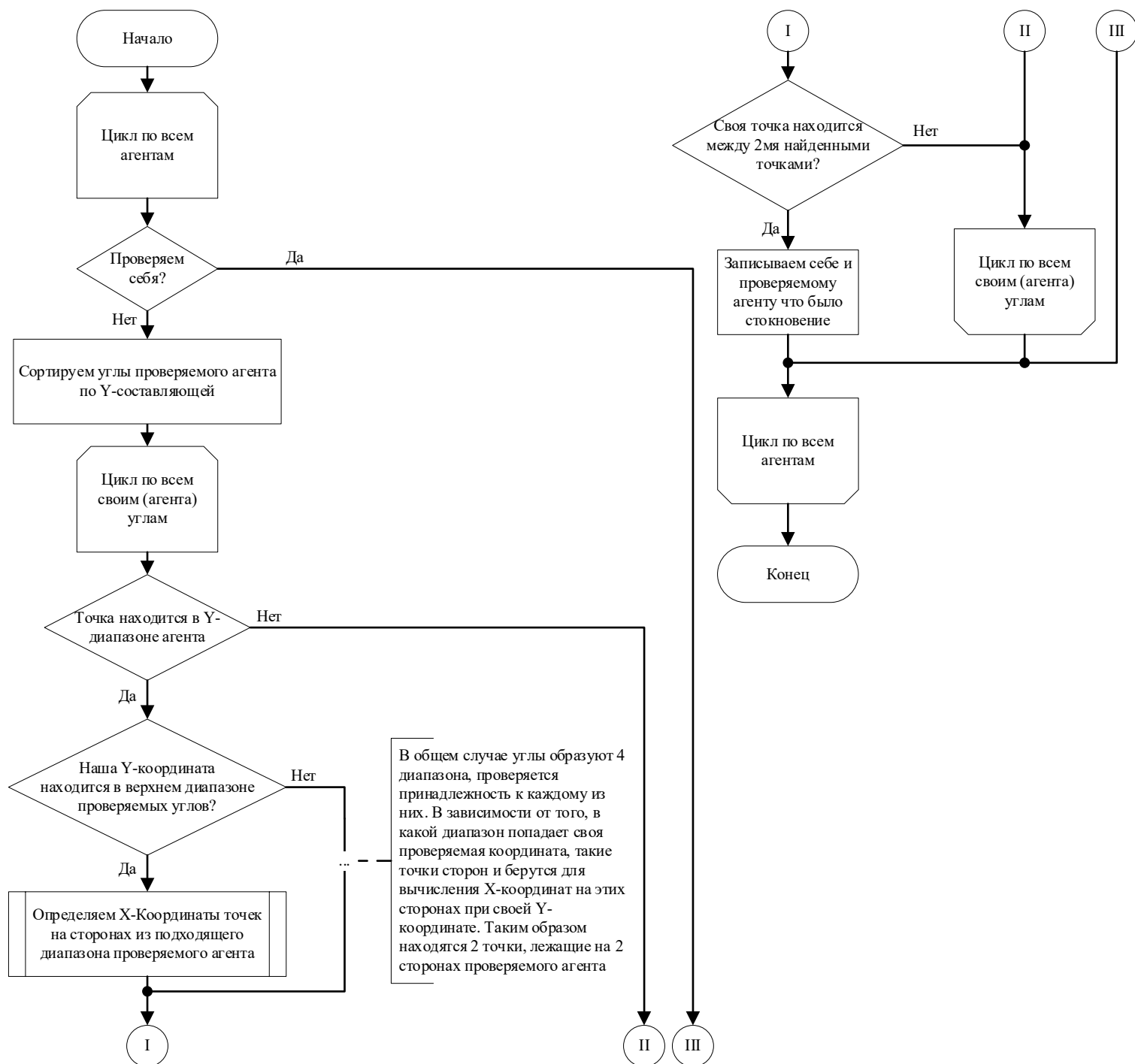


Рисунок 19 – Блок-схема алгоритма регистрации столкновений роботов

3.3.2 Алгоритм регистрации попадания в пожар

Также совершается проверка на попадание в пожар. Она выполняется схожим образом: вычисляется самая ближайшая точка огня и находится

точка, лежащая на отрезке ближайшего угла робота и точки центра очага пожара. Алгоритм показан на рисунке 20.

На рисунке 20 присутствует подпрограмма определения точки пересечения отрезков. Рассмотрим её подробнее:

- 1 для прямой, проходящей через ближайшую точку огня и через соседнюю ей, определенную ранее, находим по формулам (9) и (10) коэффициенты b_1 и $\operatorname{tg} \alpha$;
- 2 следом, по тем же формулам, находим коэффициенты для прямой, проходящей через проверяемый угол агента и центр очага b_2 и $\operatorname{tg} \beta$;
- 3 из получившихся уравнений прямых [8] и из соображений пересечения можно найти координаты общей точки (x_{\cap}, y_{\cap}) :

$$y = \operatorname{tg} \alpha \cdot x + b_1 \text{ и } y = \operatorname{tg} \beta \cdot x + b_2,$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot x + b_1 = \operatorname{tg} \beta \cdot x + b_2,$$

$$x \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) = b_2 - b_1,$$

$$x_{\cap} = \frac{b_2 - b_1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta},$$

$$y_{\cap} = \operatorname{tg} \beta \cdot x_{\cap} + b_2.$$

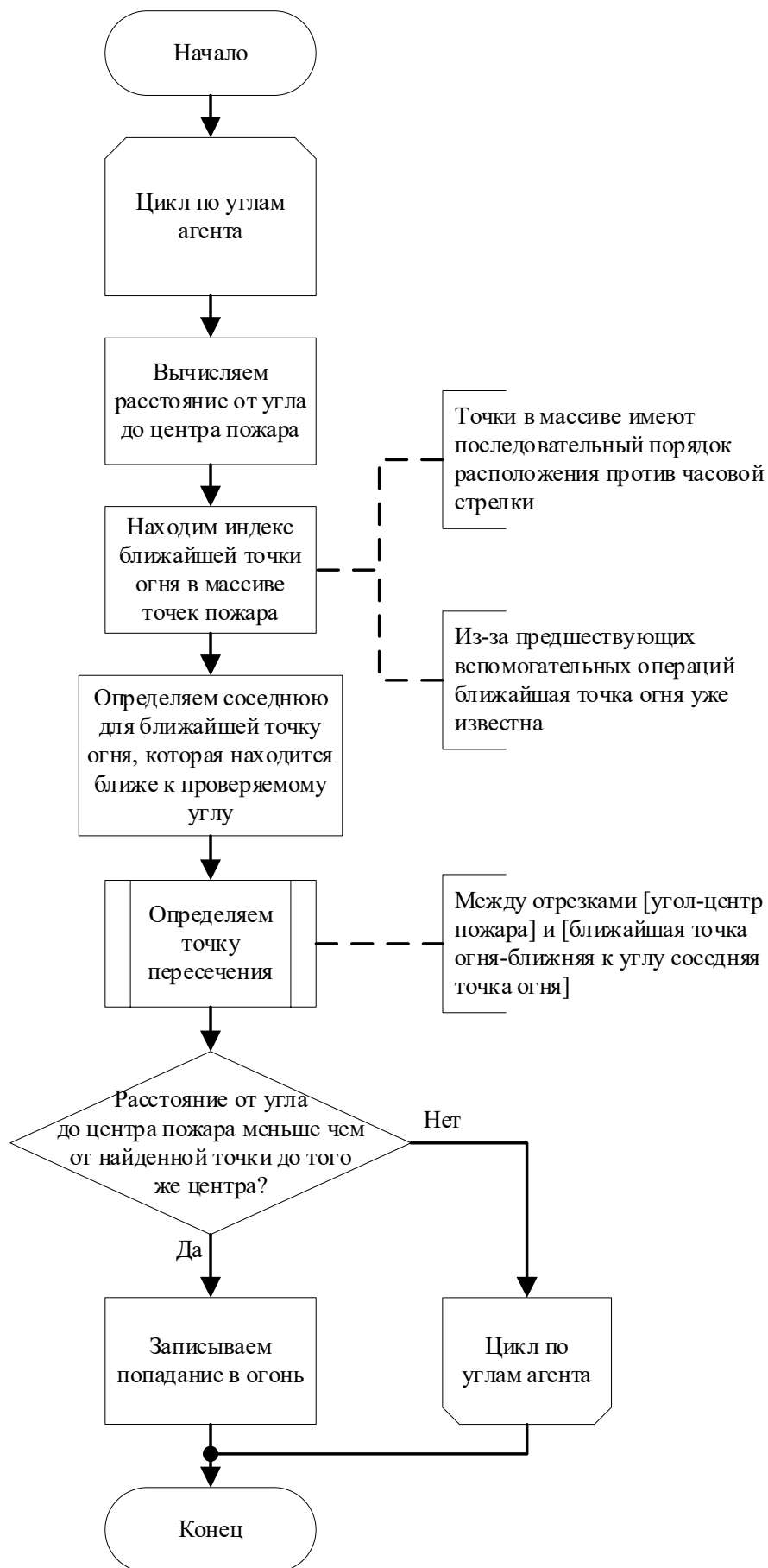


Рисунок 20 – Блок-схема алгоритма регистрации попадания агента в пожар

3.4 Дизайн наград и штрафов

Успешность обучения управляющей программы во многом зависит от того, насколько правильно будут расставлены акценты при формировании подкрепления. Здесь весьма тонкая грань между достижением цели и зарабатыванием абстрактных очков, ведущих к цели (по задумке разработчика). Нередко получается так, что управляющая программа начинает только зарабатывать положительную награду, при этом оставив стремление достичь желаемой разработчиком цели. С учетом данной опасности и направленности к взаимодействию агентов необходимо было составить ряд штрафов и поощрений, опирающихся исключительно на действия, необходимые для достижения поставленной задачи.

Награды:

- необходима была такая награда, которая позволит охарактеризовать «правильность» действий роботов, здесь нами было определено 2 важных аспекта: струи должны образовывать единый фронт тушения, чтобы эффективно сдерживать и ничего не пропускать, это с одной стороны, с другой стороны располагается второй аспект – роботы должны расположиться как можно шире, чтобы охватить как можно больше фронта очага пожара. Поэтому были определены следующий ряд наград за взаимодействие (формулы взаимодействия разработаны совместно с разработчиком управляющей программы):

$$r_s = \sqrt[3]{(C - S_{max} \cdot bias) \cdot wish}$$

- награда за распределение агентов по фронту очага пожара,

где C – расстояние между центрами роботов;

S_{max} – максимальная длина участка тушения, приходящаяся на 1 робота;

$bias$ – отклонение от S_{max} ;

$wish$ – коэффициент значимости критерия.

$$r_c = -\frac{1}{red} \cdot \ln\left(\frac{S}{S_{max}}\right)$$

– награда за плотность тушения пожара агентами,

где red – коэффициент уменьшения влияния критерия;

S – кратчайший отрезок между тушащими областями агентов.

$$S_{max} = \frac{P}{n},$$

где P – периметр фронта очага;

n – количество агентов.

Фронт очага пожара – некоторое количество точек огня, скорость которых является наибольшей в пожаре. Количество точек огня во фронте равно $n \cdot 3$, то есть по 3 точки на каждого агента. Как только точка стала тлеть, она заменяется другой с большей скоростью распространения;

- также агенту надо как-то сказать, что тушение – это правильно, причем не просто тушение, а эффективное тушение. Отсюда появилась награда за тушение, она базируется на степени воздействия на точку, чтобы робот стремился как можно лучше тушить пожар:

$$r_e = effort \cdot 100,$$

где $effort$ рассчитывается по формуле (3);

для того, чтобы робот хотя бы имел шанс на получение прежде описанных наград, ему надо добраться до очага на расстояние, благоприятное для тушения. Здесь награда за приближение к огню (формула разработана мной, дабы агенты направлялись к очагу пожара и располагались на возможном для тушения расстоянии) строится таким образом, чтобы награда была отрицательной (то есть была штрафом) до тех пор, пока робот не приблизится к пожару на расстояние, при котором он может производить тушение. Соответственно, чем дальше от очага – тем сильнее будет

штрафовать. Сама награда при достижении необходимой дистанции будет небольшой, но это не проблема, так как затем робот сможет получить большую награду за тушение:

$$r_f = \frac{\textit{coverage dist} - \textit{fire dist}}{5},$$

где *coverage dist* – глубина покрытия области тушения;

fire dist – расстояние от центра робота до ближайшей точки огня.

Штрафы:

- штраф за попадание в пожар 1000 (и завершение эпизода). Этот штраф призван научить роботов обходиться без урона и потерь оборудования;
- штраф за столкновение 100. Этот штраф призван научить агентов добираться до очага пожара без столкновений друг с другом;
- штраф за тушение тлеющей точки огня 10. Данный штраф необходим для стремления к эффективности использования тушащей жидкости;
- штраф за бездействие 10.

Штрафы особенно важны, они устанавливают рамки действия роботов, все правила, которые логично было бы жестко задать, сконцентрированы именно в штрафах. Они выбраны порядками без определенных значений так как здесь значение имеет только соотношение с остальными штрафами или наградами. Другими словами, дизайн штрафов основывался на степени важности допускаемых ошибок. Чем критичнее ошибка – тем больше порядок штрафа. Значения могут быть изменены после последующий испытаний.

3.5 Рендер среды

При обучении управляющей программы в среде моделирования сложно оценить качество протекающего процесса по логам в консоли. В связи с этим, возникла потребность в визуализации процессов, происходящих в среде.

Самым простым решением такой задачи были бы графики важных составляющих обучения, таких как награда, расстояние до пожара и ресурсы. Но в таком формате практически невозможно отслеживать состояние всех агентов в среде, ведь создавалась она с прицелом на групповое обучение.

В таком случае, логичным был вариант визуализации самих объектов на плоскости, а важные данные оставить выводиться в консоли. Конечно, можно строить и графики параллельно, но это лишние затраты вычислительных ресурсов, времени на отрисовку, это можно добавить по желанию. С помощью визуальной оценки действий агентов можно однозначно определить качество процесса обучения, например, роботы не распределяются по фронту очага или просто убегают от очага пожара или же, наоборот, после успешного тушения перестраиваются или залатывают дыры в строе. При данном подходе к визуализации открываются огромные возможности для анализа действий, их причин и последствий.

Для реализации рендера объектов на плоскости было изучено множество инструментов для визуализации, таких как: arcade [9], pyplot [10], PyQt5 [11], Tkinter [12], pyglet [13] и OpenGL [14].

У большинства приведенных библиотек присутствовало обязательное условие: структура приложения, подлежащего визуализации, должна быть подстроена под структуру вызовов процедур этих библиотек, другими словами, необходимо было проводить все операции и вычисления внутри процедуры визуализации, используя её как обёртку для всех процессов в среде. Здесь, создавалось приложение, которое управляло жизненным

циклом каждой отрисовки: инициализировалось окно, с определенной периодичностью вызывались очистка и метод рендера. В методе рендера как раз и должны вызываться все пользовательские функции, а в моем случае, функционирование всей среды, куда входит и коммуникация с управляющей программой. Я бы мог организовать такую структуру приложения, но принятые для этого решения могли ухудшить работоспособность среды. Я стремился найти инструмент, который позволит среде быть независимой от рендера (так как должна присутствовать возможность его отключения, а также рендер сильно влияет на быстродействие). В качестве используемых инструментов меня удовлетворили `pyglet` и `OpenGL`. Эти инструменты позволяют оперировать двойным буфером:

- библиотека `pyglet` отвечает за переключение буферов между собой на отображение в окне, которое создается этой же библиотекой, также за управление этим окном;
- библиотека (фреймворк) `OpenGL` отвечает за наполнение буферов. Здесь выбираются режимы визуализации переданных координат. Вся визуализация строится на построении примитивов по точкам в разных режимах. Например, рассмотрим несколько режимов визуализации:
 - `GL_POINTS` — каждая вершина задает точку;
 - `GL_LINES` — каждая отдельная пара вершин задает линию;
 - `GL_LINE_STRIP` — каждая пара вершин задает линию (т.е. конец предыдущей линии является началом следующей);
 - `GL_LINE_LOOP` — аналогично предыдущему, за исключением того, что последняя вершина соединяется с первой и получается замкнутая фигура;
 - `GL_TRIANGLES` — каждая отдельная тройка вершин задает треугольник;

- `GL_TRIANGLE_STRIP` — каждая следующая вершина задает треугольник вместе с двумя предыдущими (получается лента из треугольников);
- `GL_TRIANGLE_FAN` — каждый треугольник задается первой вершиной и последующими парами (т.е. треугольники строятся вокруг первой вершины, образуя нечто похожее на диафрагму);
- `GL_QUADS` — каждые четыре вершины образуют четырехугольник;
- `GL_QUAD_STRIP` — каждая следующая пара вершин образует четырехугольник вместе с парой предыдущих;
- `GL_POLYGON` — задает многоугольник с количеством углов равным количеству заданных вершин. [14]

Рассмотрим алгоритм рендера среды, представленный на рисунке 21. Данный алгоритм является методом среды и вызывается на каждом совершаемом шаге.

Из рисунка 21 видно, что алгоритм рендера в общем является очень простым, что является, несомненно, преимуществом данного подхода. Для полноты картины рассмотрим блок-схемы рендеров агентов и пожара.

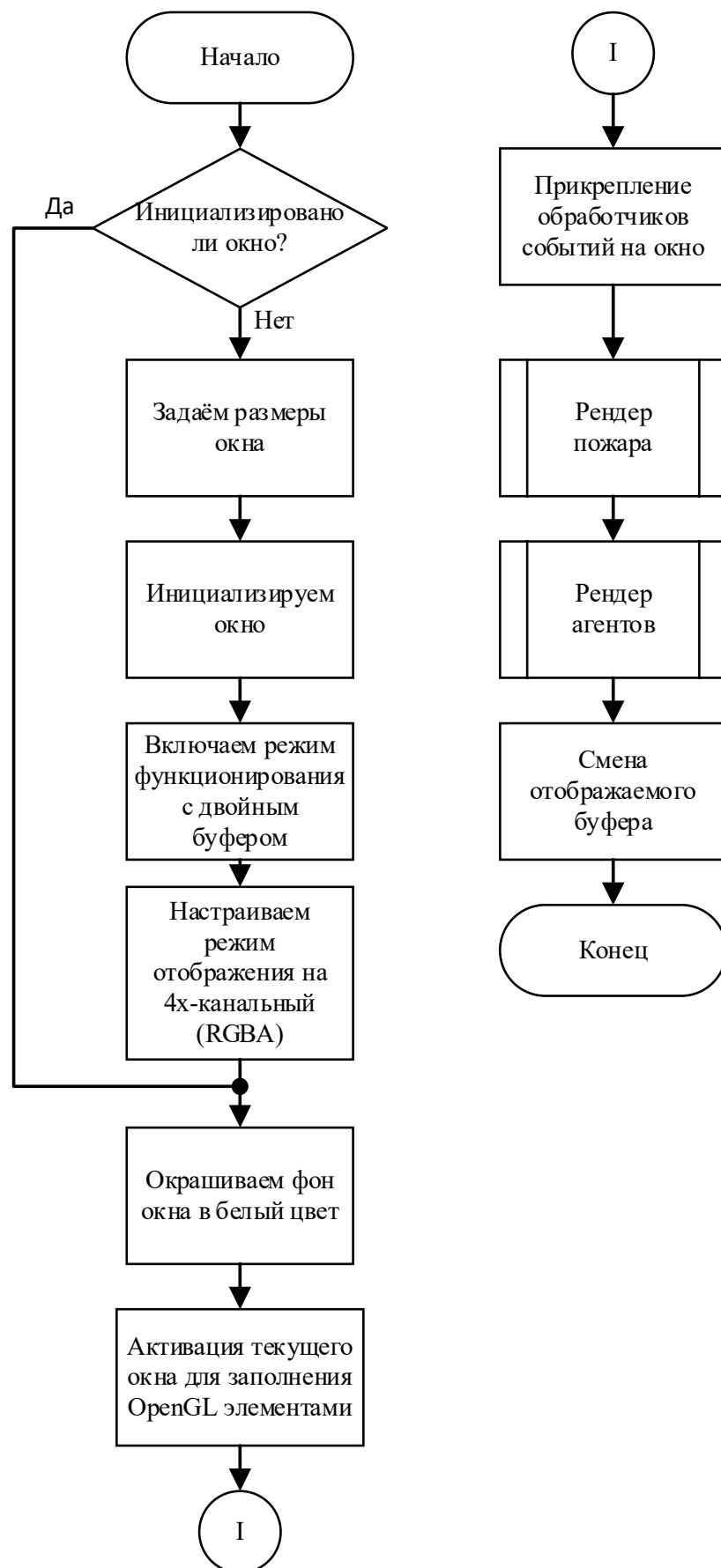


Рисунок 21 – Блок-схема алгоритма рендера среды

В блок-схеме алгоритма, изображенной на рисунке 22, особое значение имеет порядок совершения операций. Дело в том, что записываемые объекты в буфер наслаиваются друг на друга, то есть, наверху будут отображаться элементы, которые были записаны в последнюю очередь. Также, стоит отметить, что при инициализации окна и режима его функционирования, была выбрана цветовая схема с альфа-каналом (прозрачностью). Данная опция используется при рендере тлеющей области и области тушения агентов. Рассмотрим алгоритм рендера агентов, представленный на рисунке 23.

Если агент производил тушение, под ним будет нарисована полупрозрачная треугольная область. Таким образом, можно визуально определить, попадает ли робот по точке огня. Все агенты инициализируются со своими случайными цветами, но, если включен режим одиночного управления, постоянно подсвечиваться зеленым будет именно тот, что действует осознанно, остальные, в этом случае будут визуализироваться в обычном режиме.

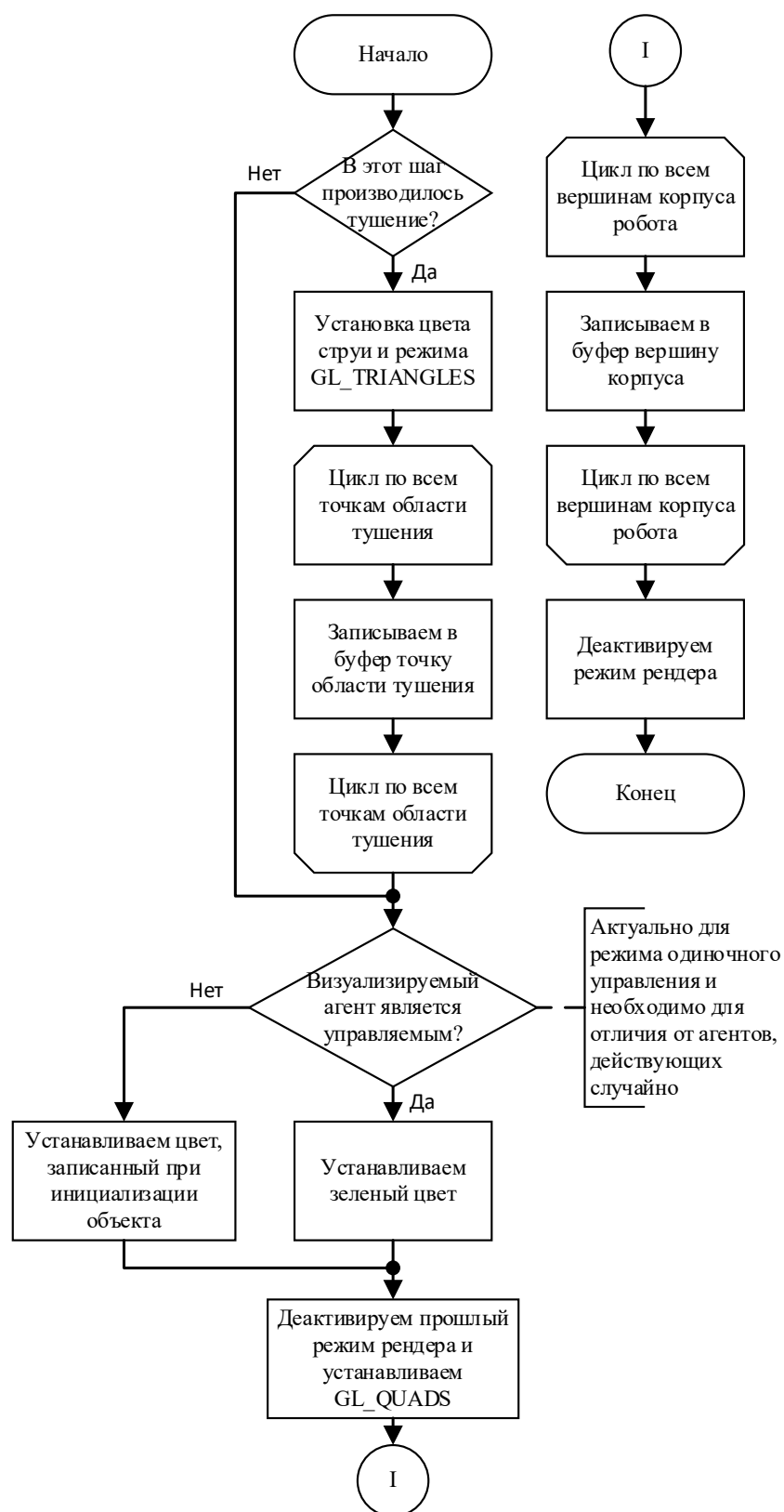


Рисунок 23 – Блок-схема алгоритма рендера агента

Таким образом, разработанные алгоритмы рендера среды позволяют визуализировать все объекты среды, тем самым предоставляя разработчику всю необходимую информацию в привычном формате. Также, во избежание

наскучивания картинки во время слежения за действиями, разворачивающимися в среде, все цвета создаются случайно каждый эпизод (в заранее заданном диапазоне). На рисунках 24 и 25 приведены примеры рендера среды в начале моделирования эпизода и немного погода.



Рисунок 24 – Пример рендера среды

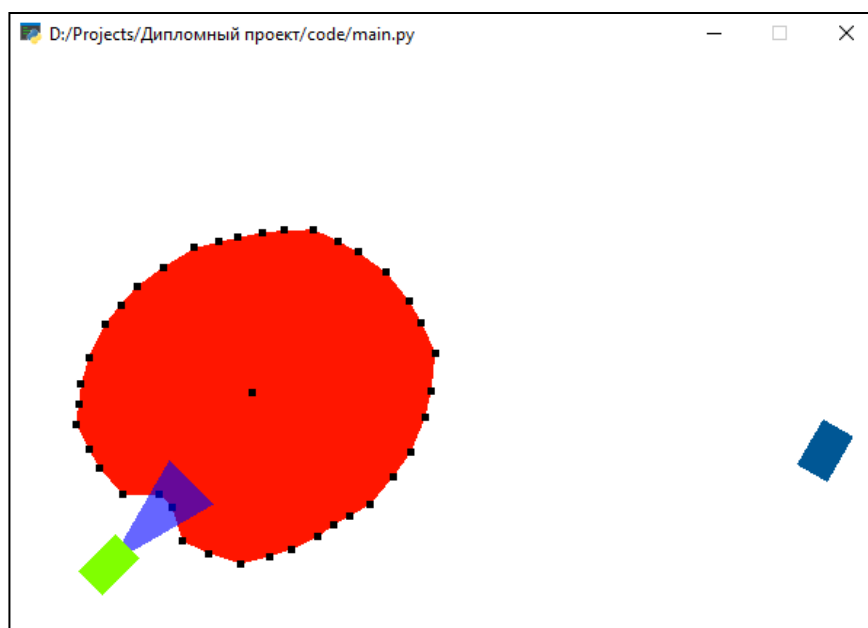


Рисунок 25 – Пример рендера среды

3.6 Дополнительные инструменты среды

3.6.1 Диагностика наград

Так как работа направлена именно на создание среды, то нелишним будет позаботиться о комфорте разработки управляющей программы для данной среды. Поэтому был добавлен режим диагностики наград, который позволяет детально посмотреть: из чего строится награда за шаг и почему агент штрафуются. Примеры работы режима диагностики наград представлены на рисунках 26 и 27.

```
-----НАЧАЛО ШАГА-----  
Награда за тушение: 0  
Награда за взаимодействие:  $r_c(24.191924498743873) + r_s(-17.65625149254444) = 6.535673006199434$   
Награда за расстояние до пожара: -20.5448  
Общая награда: -14.009126993800564  
-----КОНЕЦ ШАГА-----
```

Рисунок 26 – Пример диагностики наград

```
-----НАЧАЛО ШАГА-----  
Остаточные очки горения точки (X103.24401274984416, Y93.43019173349697): 0  
Остаточные очки горения точки (X102.42940647767877, Y94.51383346584264): 0  
Остаточные очки горения точки (X102.4469478724781, Y85.0381300570933): 1189.199999999954  
Остаточные очки горения точки (X98.19385339267825, Y72.26101653627721): 2391.2499999999504  
Награда за тушение: 116.44999999999999  
Штраф за попадание в пожар: 1000  
Награда за взаимодействие:  $r_c(27.997239943306944) + r_s(-20.401327162395766) = 7.595912780911176$   
Награда за расстояние до пожара: 12.712  
Общая награда: -863.2420872190888  
-----КОНЕЦ ШАГА-----
```

Рисунок 27 – Пример диагностики наград

3.6.2 Встроенная документация

Для разработчика управляющей программы доступны некоторые методы среды, для них написана подробная документация с описанием того, что делает метод и что возвращает. Пример окна с документацией метода среды представлен на рисунке 28.

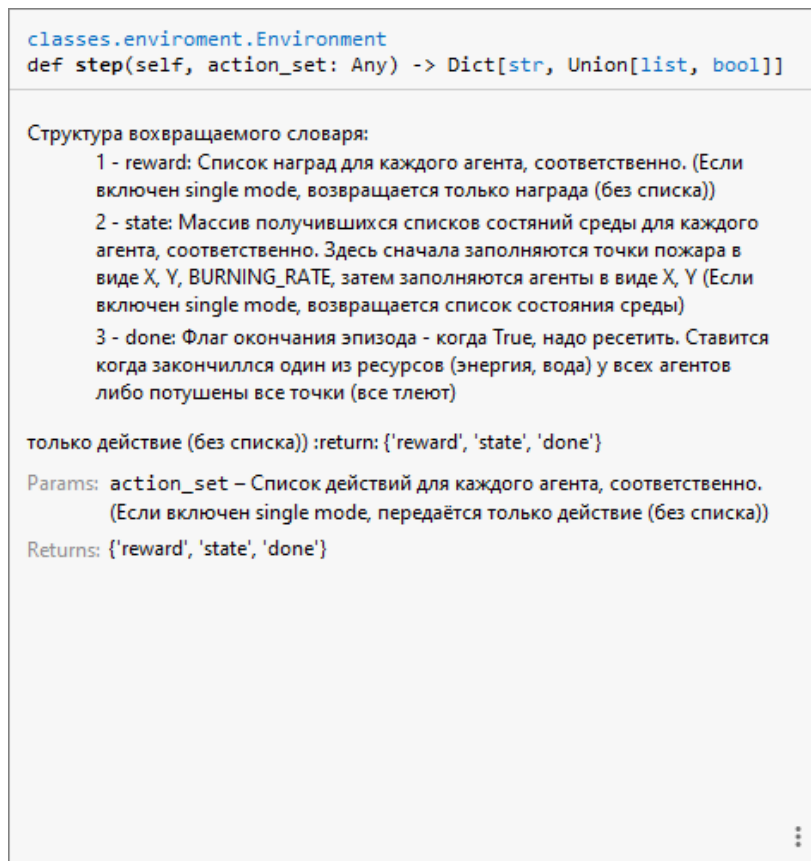


Рисунок 28 – Пример документации к методу step

3.6.3 Режим одиночного управления

В случае, если планируется управлять только одним роботом, а создаётся группа, присутствует режим одиночного управления. В это режиме возвращаются награда и состояние только для одного робота, а в метод совершения шага следует передавать только одно действие. Остальные агенты в данном режиме будут действовать случайным образом.

3.6.4 Отключение рендера

Если разработчик уверен, что обучение идёт как надо, то для лучшего быстродействия можно отключить рендер среды.

3.7 Вывод по разработанной среде моделирования

В ходе работы была разработана среда на языке программирования python с применением некоторого количества библиотек и интерфейсом для обучения с подкреплением, то есть наградой, состоянием и флагом завершения. Состояние среды на выходе нормировано (рисунок 29) для лучшего обучения нейросети управляющей программы.

```
Награда: -1.7009713601372507
Состояние: [0.20715921824641167, 0.3793232727950913, 0.9976999999999916,
Количество переменных в состоянии: 42
Флаг завершения эпизода: False
```

Рисунок 29 – Пример возвращаемых данных от среды

Разработанная среда имеет возможность обучать сразу нескольких агентов, что позволяет тренировать искусственный интеллект в достижении групповых целей. Разработчику управляющей программы доступны методы класса среды и документация к ним, что значительно упрощает интеграцию. В целом, для запуска среды и совершения шага требуется всего 2 команды: инициализация и сам шаг. Также для простоты разработки в среде присутствуют дополнительные инструменты разработчика, значительно упрощающие понимание внутренних процессов среды.

Награды и штрафы направлены на оперативную остановку фронта очага пожара группой роботов, и на дальнейшее его сдерживание. В идеальном случае роботы должны полностью остановить распространение очага.

Поставленные задачи были выполнены. Среда будет и дальше дорабатываться.

Следующий этап – предобучение агентов в тушении пожара и переход в полунатурное моделирование. Здесь в роли агентов будут выступать роботы Lego Mindstorms, положение которых будет отслеживаться с помощью камеры, расположенной сверху. Все данные о роботах будут

передаваться в среду, где будет происходить моделирование распространения очага пожара, а обратно управляющая программа (как стратегический уровень) будет передавать действие, которое необходимо будет выполнить роботу. В каждом роботе будет выполняться программа с САУ по положению. Типовая ОСС данной САУ представлена на рисунке 19.

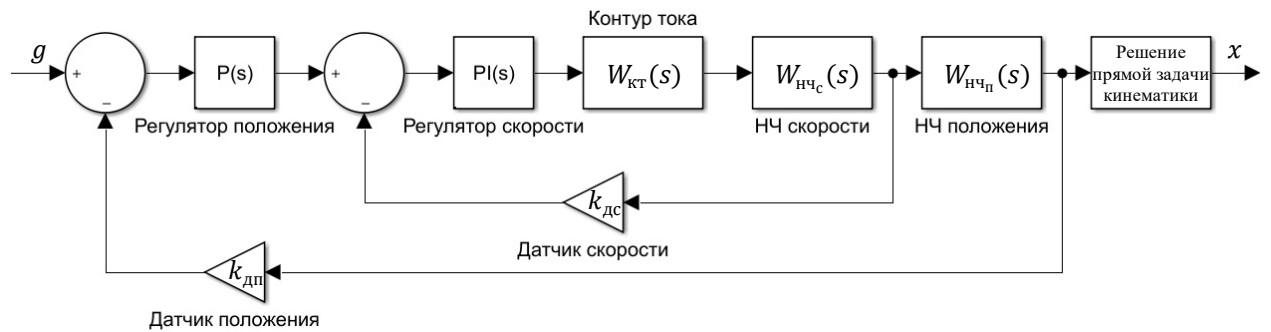


Рисунок 30 – Типовая операторно-структурная схема управления по положению:

g – задающее воздействие, x – регулируемая величина

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 SWOT-анализ проекта

Проведём анализ по методологии SWOT. Для этого определим сильные и слабые стороны разработанной среды моделирования, а также вероятные возможности и угрозы. Затем на пересечениях матрицы приведем возможные действия или пути решения сложившихся ситуаций. SWOT-анализ представлен в таблице 2.

Таблица 2 – SWOT-матрица

	Сильные стороны: <ul style="list-style-type: none"> – современный стек технологий; – максимальная настраиваемость системы; – возможность смены режима группового управления на одиночное; – вспомогательные инструменты разработки; – готовый и удобный RL-интерфейс; – встроенная подробная документация. 	Слабые стороны: <ul style="list-style-type: none"> – оптимизация; – дискретность действий агентов; – высокая сложность обучения; – неотработанные награды и штрафы.
Возможности: <ul style="list-style-type: none"> – успех в реализации децентрализованного группового управления; – контракт с МЧС или организациями, занимающимися пожаротушением; – включение разработанной среды в OpenAi Gym; – зарубежные контракты. 	<ul style="list-style-type: none"> – Внедрение роботов с децентрализованным групповым управлением в пожаротушение. – Сокращение площади выгорающего леса в год. – Развитие группового управления в России. – Внедрение по всему миру. 	<ul style="list-style-type: none"> – Улучшение кода через приобретенный опыт. – Переработка наград и штрафов с учетом наблюдений. – Упразднение некоторых статей наград и штрафов, дабы облегчить обучение агенту. – Добавление нового уровня управления, чтобы перейти на непрерывный метод управления.

Продолжение таблицы 2 – SWOT-матрица

	Сильные стороны: <ul style="list-style-type: none"> – современный стек технологий; – максимальная настраиваемость системы; – возможность смены режима группового управления на одиночное; – вспомогательные инструменты разработки; – готовый и удобный RL-интерфейс; – встроенная подробная документация. 	Слабые стороны: <ul style="list-style-type: none"> – оптимизация; – дискретность действий агентов; – высокая сложность обучения; – неотработанные награды и штрафы.
Угрозы: <ul style="list-style-type: none"> – низкая обучаемость агентов; – незаинтересованность организаций по внедрению роботов в пожаротушение; – несоответствие результатов обучения с желаемыми. 	<ul style="list-style-type: none"> – Дообучение агентов на полунатурном моделировании и демонстрация результатов, дабы увеличить заинтересованность. – Пересмотр акцентов в дизайне штрафов и наград. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ввести более опытного программиста в проект. – Переработать полностью систему наград и штрафов. – Привести возможные цифры спасенных лесов.

4.2 Организация и планирование работ

Разработка среды моделирования взаимодействия автономных робототехнических устройств велась инженером (И) с помощью научного руководителя (НР), консультанта (К) и эксперта из пожарной охраны (Э). График реализации проекта представлен в таблице 3.

Таблица 3 – График реализации проекта

№	Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Постановка целей и задач, определение востребованности	К, И	К – 90% И – 30%
2	Составление и утверждение ТЗ	НР, К, И	К – 80% НР – 60% И – 40%

Продолжение таблицы 3 – График реализации проекта

№	Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
3	Поиск и обработка информации по пожарам и их тушению	Э, И	Э – 50% И – 100%
4	Поиск и обработка информации об организации сред и RL	И	И – 100%
5	Разработка алгоритмов моделирования пожара и вспомогательных средств	НР, К, И	И – 100% К – 30% НР – 30%
6	Разработка алгоритмов моделирования роботов и их взаимодействия	НР, К, И	И – 100% К – 10% НР – 10%
7	Дизайн наград и штрафов	НР, К, И	И – 100% К – 20% НР – 20%
8	Разработка оболочки среды, RL-интерфейса, рендеринга и дополнительных инструментов	И	И – 100%
9	Оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала	И	И – 100%
10	Подведение итогов	НР, К, И	И – 100% НР – 50% К – 50%

4.2.1 Продолжительность этапов работ

Для определения продолжительности реализации проекта будем использовать экспертный опытно-статистический метод. В качестве эксперта по оценке продолжительности выступает сам инженер. Для каждого этапа определим ожидаемую продолжительность $T_{ож}$ по формуле (11).

$$T_{ож} = \frac{T_{min} + 4 T_{prob} + T_{max}}{6}, \quad (11)$$

где $T_{min}, T_{prob}, T_{max}$ – минимальная, наиболее вероятная и максимальная продолжительности выполнения работ, соответственно.

Следом необходимо вычислить длительность этапов в рабочих днях $T_{рд}$. Это необходимо для построения графика выполнения проекта и дальнейших вычислений. В отличие от ожидаемого времени выполнения $T_{ож}$, продолжительность в рабочих днях вычисляется для каждого участника

этапа с учетом его загруженности. Таким образом, количество рабочих дней рассчитывается по формуле (12).

$$T_{рд} = \frac{T_{ож}}{K_{вн}} K_{д} \eta, \quad (12)$$

где $K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов, примем $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент учета непредвиденных задержек выполнения, примем $K_{д} = 1,1$;

η – коэффициент загрузки исполнителей из таблицы 3.

Последним шагом в определении продолжительности этапов проекта является расчет длительности в календарных днях. Этот шаг проводится по формуле (13).

$$T_{кд} = T_{рд} T_{к}, \quad (13)$$

где $T_{к}$ – коэффициент календарности, который учитывает наличие выходных и праздничных дней и равен $T_{к} = 1,205$.

В таблице 4 приведены все вычисленные продолжительности этапов выполнения проекта для всех участников. Что характерно, наибольшая продолжительность наблюдается на этапах непосредственной разработки алгоритмов и программирования среды моделирования. Также следует отметить, что участие консультанта и научного руководителя на этих этапах проявлялось в критике представляемых реализованных решений и внесение корректировки, поэтому степень участия выбрана невысокой. Таким образом, если уменьшить продолжительность этапов непосредственного программирования и разработки алгоритмов моделирования, можно существенно сократить график выполнения проекта. Этого можно достичь путём приобретения большего опыта для инженера или включение в проект дополнительного участника-программиста.

В таблице 5 представлен линейный график разработки среды моделирования. Для простоты разработки этапы не были распараллелены,

таким образом, сохранялась целостность разрабатываемой части, в противном случае могла появиться путаница в принимаемых решениях. Также следует упомянуть, что в графике положение меньших продолжительностей на этапе является условным, другими словами, каждая продолжительность (кроме самой большой на этапе) выполнения может располагаться и в середине, в конце всего этапа, например, в вышеупомянутые этапы непосредственной разработки научный руководитель с консультантом работали в середине всей продолжительности этапа, указывали на ошибки, затем инженер исправлял все полученные замечания и вносил пожелания в проект.

В проекте участвовал эксперт из пожарной охраны. Его роль – предоставление порядка действий при возникновении определенных ситуаций с лесными пожарами, описание взаимодействия такого, какое происходит на самом деле. Также эксперт описал задачи и роли каждого пожарного и руководителя пожарными расчетами, что позволило составить полную картину того, чем должны заниматься роботы и как они могут помочь непосредственно пожарному. В основу дизайна наград и описания алгоритма распространения пожара и легла информация от эксперта.

Таблица 4 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этапы работ	Исполнители	Загруженность	T_{min}	T_{max}	T_{prob}	$T_{ож}$	$T_{рд}$	$T_{кд}$
Постановка целей и задач, определение востребованности	К, И	К – 90%	2	5	4	3,8	3,76	4,53
		И – 30%					1,25	1,51
Составление и утверждение ТЗ	НР, К, И	К – 80%	3	6	4	4,2	3,7	4,46
		НР – 60%					2,77	3,34
		И – 40%					1,85	2,23
Поиск и обработка информации по пожарам и их тушению	Э, И	Э – 50%	7	14	8	8,8	4,84	5,83
		И – 100%					9,68	11,66
Поиск и обработка информации об организации сред и RL	И	И – 100%	7	10	8	8,2	9,02	10,87
Разработка алгоритмов моделирования пожара и вспомогательных средств	НР, К, И	И – 100%	14	21	20	19,2	21,12	25,45
		К – 30%					6,34	7,64
		НР – 30%					6,34	7,64
Разработка алгоритмов моделирования роботов и их взаимодействия	НР, К, И	И – 100%	14	21	18	17,8	19,58	23,59
		К – 10%					1,96	2,36
		НР – 10%					1,96	2,36
Дизайн наград и штрафов	НР, К, И	И – 100%	7	14	12	11,5	12,65	15,24
		К – 20%					2,53	3,05
		НР – 20%					2,53	3,05
Разработка оболочки среды, RL-интерфейса, рендеринга и дополнительных инструментов	И	И – 100%	14	21	16	16,5	18,15	21,87
Оформление расчетно-пояснительной записки и графического материала	И	И – 100%	7	21	17	16	17,6	21,21
Подведение итогов	НР, К, И	И – 100%	5	8	6	6,2	6,82	8,22
		НР – 50%					3,41	4,11
		К – 50%					3,41	4,11
Итого		И				112,2	117,72	141,85
		К					21,7	26,15
		НР					17,01	20,5
		Э					4,84	5,83

Таблица 5 – Линейный график работ

№	И	К	НР	Э	Я.	Февраль				Март			Апрель			Май			Июнь	
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
1	1.51	4.53	-	-	<div><div></div><div></div></div>															
2	2.23	4.46	3.34	-	<div><div></div><div></div><div></div></div>															
3	11.66	-	-	5.83		<div><div></div><div></div></div>														
4	10.87	-	-	-			<div><div></div></div>													
5	25.45	7.64	7.64	-				<div><div></div><div></div></div>												
6	23.59	2.36	2.36	-						<div><div></div><div></div></div>										
7	15.24	3.05	3.05	-								<div><div></div><div></div></div>								
8	21.87	-	-	-										<div><div></div></div>						
9	21.21	-	-	-												<div><div></div></div>				
10	8.22	4.11	4.11	-														<div><div></div><div></div><div></div></div>		

И – ; К – ; НР – ; Э –

4.3 Смета затрат на выполнение проекта

В случае разработки среды моделирования как программного обеспечения, смета затрат строится по следующим статьям:

- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (не вкл. освещение);
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

Рассмотрим каждую статью отдельно.

4.3.1 Заработная плата

Так как проект состоит в разработке программного обеспечения, большую часть затрат составляет заработная плата его участникам. Эта статья основана на количестве рабочих дней, рассчитанных ранее (см. таблицу 4), и среднедневном окладе каждого из участников (с учетом наличия праздников и выходных). Расчет заработной платы $C_{зп}$ представлен в таблице 6 (коэффициент отвечает за учет 5- или 6-дневной рабочей недели).

Таблица 6 – Заработная плата участников проекта

Исполнитель	Оклад, Р/мес.	Среднедневная ставка, Р/раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы $C_{зп}$, Р
И	15 470	616,75	118	1,592	115 860,19
К	21 760	867,52	22	1,699	32 426,16
НР	33 664	1 342,1	17	1,699	38 763,87
Э	34 000	1 355,5	5	1,592	10 789,78
Итого					197 840

4.3.2 Социальный налог

Необходимо учесть затраты на единый социальный налог (ЕСН). Он включает в себя медицинское и социальное страхования и отчисления в пенсионный фонд. В среднем, ЕСН составляет 30% от заработной платы по проекту:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3 = 59\,325 \text{ Р.}$$

4.3.3 Расходы на электроэнергию

Расчет $C_{\text{эл}}$ (таблица 7) ведется по рабочим дням инженера (см. таблицу 4). Так как разработка велась на ноутбуке и дополнительном мониторе, их мощность легко найти на блоках питания. Разработка велась в 10 корпусе ТПУ, поэтому тариф за электроэнергию в расчетах использован соответствующий, он составляет $6,59 \frac{\text{Р}}{\text{кВт ч}}$.

Таблица 7 – Расходы на электроэнергию

Оборудование	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Затраты $C_{\text{эл}}$, Р
Ноутбук	942	0,09	558,7
Монитор	942	0,025	155,19
Итого			713,89

Совершенно неочевидно, что данная статья является настолько небольшой. Это связано с небольшой мощностью использованного оборудования.

4.3.4 Амортизационные отчисления

В данной статье рассчитываются амортизационные выплаты $C_{ам}$ за время работы в проекте по каждому оборудованию. Расчет ведется по формуле (14).

$$C_{ам} = \frac{H_a \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_d}, \quad (14)$$

где H_a – годовая норма амортизации единицы оборудования,

$$H_a = \frac{1}{t_a},$$

где t_a – примерное время работы оборудования (берется в диапазоне из постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» [20]);

$C_{об}$ – цена оборудования;

$t_{рф}$ – время работы оборудования в рабочих часах, основано на таблице 4;

n – количество единиц оборудования;

F_d – годовой фонд времени работы оборудования и составляет $F_d = 2408$.

Для используемого оборудования диапазон полезной работы составляет 2-3 года, в связи с этим для ноутбука было выбрано 2,5 года, а для монитора 3. Расчет представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Амортизационные отчисления

Оборудование	H_a	$C_{об}, \text{Р}$	$t_{рф}, \text{час}$	Амортизация $C_{ам}, \text{Р}$
Ноутбук	0,4	62 000	941,76	9 699,19
Монитор	0,33	11 930	941,76	1 555,26
Итого				11 254,45

4.3.5 Прочие расходы

В данной статье идёт расчет на непредвиденные расходы и на то, что не было учтено ранее. Величина статьи выбрана равной 10% от всех вышеприведенных затрат.

$$C_{\text{пр}} = 0.1 \sum_i C_i = 26\,914,03 \text{ Р},$$

где C_i – вышеописанные статьи расходов.

4.3.6 Общая себестоимость разработки

Определим общую себестоимость разработки проекта. В расчете, представленном в таблице 9, используя все посчитанные выше статьи.

Таблица 9 – Общая себестоимость проекта

Статья расходов	Сумма, Р
Заработная плата	197 840
Социальный налог	59 352
Электроэнергия	713,89
Амортизация	11 254,45
Прочие расходы	26 916,03
Итого	296 076,37

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 296\,076,37 \text{ Р}$.

4.3.7 Расчет прибыли и НДС

Возможная прибыль от реализации проекта может быть рассчитана как 20% от общей сметы расходов.

$$P = 0,2 \cdot C = 59\,215,27 \text{ Р}.$$

Следует отметить, что данный расчет носит примерный характер и не является точным.

На НДС отводится 20% от суммы прибыли и затрат на разработку:

$$N = 0,2 (P + C) = 71\,058,33 \text{ Р.}$$

4.3.8 Цена разработки НИР

Таким образом, цена разработки составляет

$$C_{\text{нир}} = C + P + N = 426\,349,97 \text{ Р.}$$

4.4 Экономическая эффективность проекта

В рамках данной НИР оценка экономической эффективности невозможна, для этого необходимо провести дополнительные исследования. В частности, эффект от разработанной среды моделирования носит косвенный характер, она может способствовать сокращению площади выгорающих лесов, сохранению объектов, выводящихся из строя огнем, а также и спасению жизней как людей, так и животных. Экология прямым образом влияет на экономику, так как для устранения каких-либо чрезвычайных ситуаций необходимы средства, также сами леса являются ценным ресурсом и т.д.

4.5 Вывод по разделу финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережению

В ходе проведения оценки финансового аспекта НИР, был разработан календарный план выполнения проекта. Таким образом, общее время разработки среды моделирования взаимодействия автономных робототехнических устройств заняло 147 календарных дней. Также была рассчитана смета проекта, по совершённым расчетам, цена разработки составила 426 349,97 Р.

5 Социальная ответственность

В данном разделе производится анализ вопросов обеспечения рабочего места при данной разработке, также вопрос безопасности при разработке и эксплуатации, также рассмотрены возможные ЧС и порядок их разрешения. Дипломная работа направлена на разработку среды моделирования очага пожара с тушащими роботами. Основная цель среды – предобучить управляющую программу решать задачу по сдерживанию очага пожара с помощью группового управления.

Среда направлена на использование разработчиками управляющих программ. Результаты обучения на разработанной среде имеют особую актуальность в связи с ущербом, причиняемом пожарами каждый год по всему миру.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Разработанная среда, в первую очередь, должна использоваться для реализации предобучения роботов сдерживать пожар. Обучение может происходить разнообразными методами, но интерфейс работы со средой настроен именно под нужды и особенности обучения с подкреплением (англ. Reinforcement learning).

Чаще всего, зависимость результатов обучения от множества гиперпараметров⁴ просматривается неясно, а в случае с обучением с подкреплением эта зависимость является ключевой. Трудоёмкая и кропотливая задача «подкручивать» гиперпараметры ложится на

⁴ Оптимизация гиперпараметров – параметры системы, влияющие на успешность выполнения поставленной задачи. Целевая задача машинного обучения состоит в выборе и настройке оптимальных гиперпараметров для обучающего алгоритма.

программиста, поэтому рабочей зоной для данной работы является его рабочее место.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Для требуемого программиста, работающего непосредственно в офисе организации (в общем случае), в Трудовом кодексе Российской Федерации [21] специальных правовых норм не предусмотрено. Таким образом, на программистов распространяются только общие нормы трудового права, такие как:

- основные права и обязанности работника (часть I ТК РФ [21]);
- ответственность сторон при социальном партнерстве (часть II ТК РФ [21]);
- минимальный размер оплаты труда (ст. 133 ТК РФ [21]);
- максимальная продолжительность рабочей недели (ч. 2 ст. 91 ТК РФ [21]);
- минимальная продолжительность ежегодного отпуска (ч. 1 ст. 115 ТК РФ [21]);
- охрана труда и т. д.

5.1.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны

Рабочая зона должна быть сформирована в соответствии со стандартом ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ [22]. Рассмотрим основные положения по организации рабочей зоны.

5.1.2.1 Размерные характеристики рабочего места

Рабочее пространство должно быть обеспечено с учетом выполнения трудовых операций (написание и отладки кода программ) в пределах зоны моторной досягаемости работника. Несмотря на то, что для работы программисту не требуется большое пространство в вертикальной плоскости, все же, следует обеспечить просторное место работы по всем плоскостям. Средняя зона моторной досягаемости работника в сидячем положении представлена на рисунках 31 и 32 [22].

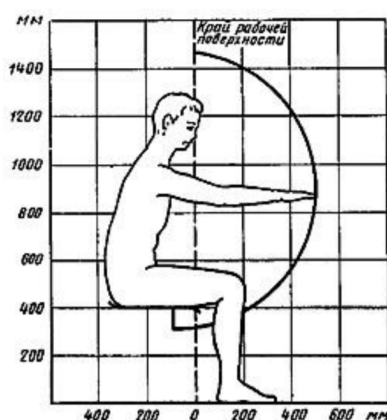


Рисунок 31 – Зона моторной досягаемости в вертикальной плоскости

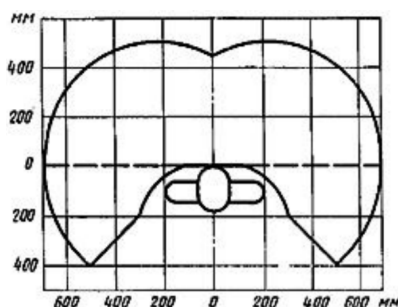


Рисунок 32 – Зона моторной досягаемости в горизонтальной плоскости

Так как программирование гендерно-нейтральный вид деятельности, рабочее место должно быть обустроено с учетом общих средних антропометрических параметров женщин и мужчин [22]. Используя средние данные о росте программистов, следует по номограмме, изображенной на рисунке 33, выбрать и организовать высоту рабочей поверхности, пространство для ног и либо выбрать высоту рабочего сидения, либо

использовать кресло с возможностью регулирования высоты с конструкцией, соответствующей требованиям ГОСТ 21889-76 [23].

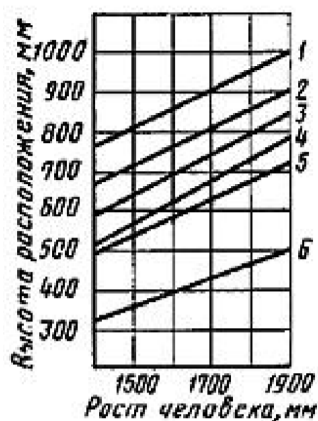


Рисунок 33 – Номограмма зависимости высоты рабочей поверхности для разных видов работ (1-4), пространства для ног (5) и высоты рабочего сидения (6) от роста человека

5.1.2.2 Требования к размещению органов управления

Основными органами управления для программиста являются клавиатура и мышь. Они размещаются с таким расчетом, чтобы не было пересечения рук, и чтобы располагались горизонтально в зонах 1 и 2, обозначенных на рисунке 34 [22].

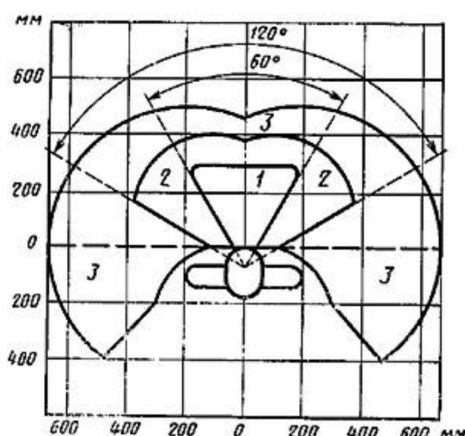


Рисунок 34 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления

5.1.2.3 Требования к размещению средств отображения информации

Расположение монитора должно соответствовать общим требованиям к размещению средств отображения информации, представленных в ГОСТ 22269-76 [25].

Нормаль экрана монитора должна быть соосна с нормальной линией взгляда человека (-15° от горизонтальной линии взгляда).

5.2 Профессиональная социальная безопасность

Неблагоприятные условия, длительная работа при которых вызывает болезни или снижение работоспособности, называют вредными производственными факторами. При увеличении уровня и длительности воздействия вредные производственные факторы могут стать опасными.

Опасные производственные факторы приводят работающего к травмам или к внезапным ухудшениям здоровья.

Определим возможные опасные и вредные факторы для проектируемой рабочей зоны при разработке и эксплуатации, и представим их в таблице 10.

Таблица 10 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Электромагнитные поля	+	+	– СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».[26]
2. Электростатические поля	+	+	– ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.[27]
3. Шум	+	+	– ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;[28] – ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.[29]
4. Нарушение микроклимата помещения	+		– СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;[30] – ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)».[31]

Продолжение таблицы 10 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
5. Шум	+	+	– ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;[28] – ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.[29]
6. Нарушение микроклимата помещения	+		– СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;[30] – ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1)».[31]
7. Нарушение освещенности рабочей зоны	+		– СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.[32]
8. Психофизиологические факторы	+		– Трудовой кодекс Российской Федерации (ТК РФ) [21]; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».[26]

Проведем анализ представленных в таблице 10 факторов.

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

5.2.1.1 Электромагнитные поля

По большей части, основными источниками электромагнитного излучения являются системный блок и монитор.

При долговременном и сильном воздействии электромагнитного поля на организм человека, нарушаются сердечно-сосудистая система, психофизическое состояние, начинает болеть голова, ухудшается самочувствие и чувствуется слабость во всём организме. При этом происходит сильное изменение электрической активности мозга.

При небольшом, но постоянном излучении происходит накапливание электромагнитных воздействий, что приводит к снижению иммунитета, частым стрессам и повышенной усталости. Предельно допустимые нормы магнитного поля приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Предельно допустимые нормы электромагнитного поля (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) [26]

Напряженность электрического поля	
В диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц	25 В/м
В диапазоне частот 2 кГц — 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	
В диапазоне частот 5 Гц — 2 кГц	250 нТл
В диапазоне частот 2 кГц — 400 кГц	25 нТл

Для снижения излучения рекомендуется устанавливать оборудование на расстоянии от работника и использовать блоки питания / мониторы достаточной мощности, также соблюдать график работы и делать перерывы.

5.2.1.2 Электростатические поля

Электрический заряд способен накапливаться на мониторах, клавиатурах, а также на корпусах компьютеров и ноутбуков.

Электростатическое поле способно нарушить сон, аппетит и вызвать неудобства у работника.

Влияние искрового разряда статического электричества от ноутбука мало и не может вызвать поражение человека, только дискомфорт. Однако электростатическое поле (соответственно, заряд на поверхности) притягивает и накапливает больше пыли, что вредит человеку. Также при накоплении большого электростатического заряда и контакте с ним, можно причинить вред электронике.

По ГОСТ 12.1.045–84 [27] установлен предельный уровень электростатического поля для человека. Он составляет 60 кВ/м в 1 час.

Чтобы защититься от влияния и накопления электростатических полей, следует организовывать заземление, использовать антистатические материалы или спреи, а также увлажнять воздух и протирать чаще пыль.

5.2.1.3 Шум

При работе компьютера и работе за ним возникают шумы, особенно они ощущаются в больших офисах. В основном они возникают от:

- кулеров процессора (обычно самые мощные кулеры, но не самые шумные);
- кулеры охлаждения корпуса;
- охлаждение видеокарты;
- жесткие диски (HDD);
- звуки нажатий клавиш клавиатур и мышек.

В современном мире, офисный шум или шум от компьютера является рутинным или даже вызывает привыкание, что при его отсутствии вызывает чувство неудовлетворенности и тревожности. Из перечисленного выше списка наиболее шумными являются кулеры (в условиях небольшого количества работников), особенно это проявляется при разбалтывании оси кулера. В этом случае этот шум усиливается и сильно раздражает. В обычном случае же компьютерный шум является накопительным и когда он начинает раздражать, возникает нарушение психофизиологического состояния работника. К таким нарушениям относятся головокружение, оглушение, рассеянность и нервность.

Установлены предельно-допустимые уровни звука, представленные в таблице 12, для разных категорий напряженности рабочего процесса, они определены в санитарной норме СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [33].

Таблица 12 – Предельно допустимые уровни звука по категориям труда

Категория напряженности трудового процесса	Предельно допустимый уровень звука, дБА
Напряженность легкой степени	80
Напряженность средней степени	70
Напряженный труд 1 степени	60
Напряженный труд 2 степени	50

Чтобы защититься от шумов компьютеров, следует регулярно проводить чистку и проверку компьютеров, рабочее пространства рекомендуется покрывать звукопоглощающими материалами с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц.

5.2.1.4 Микроклимат помещения

Микроклимат рабочих помещений – состояние внутренней среды помещений, которые определяются показателями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения. Эти условия могут влиять на самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда сотрудника как в положительную, так и в отрицательную сторону.

Оптимальные и допустимые условия микроклимата при работе с компьютерами устанавливаются санитарными нормами: СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [30] и ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [31].

Вся трудовая деятельность разбита на категории по интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Таким образом, работа сидя, сопровождающаяся незначительными физическими нагрузками, попадает в категорию Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

Допустимый уровень микроклимата достигается вентиляцией и отоплением помещения. Если обычные средства не позволяют достичь допустимых условий микроклимата (из-за большого размера, например) или надо установить оптимальные показатели, необходимы дополнительные меры по защите работников от возможного перегревания и охлаждения. Например, система кондиционирования; индивидуальные средства защиты от повышенной или пониженной температуры; смена помещения или разбиение на смены и др. Оптимальные и допустимые условия микроклимата представлены в таблицах 13 и 14, соответственно.

Таблица 13 – Оптимальные условия микроклимата для Ia категории

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22 – 24)	(40 – 60)	0,1
Теплый	(23 – 25)	(40 – 60)	0,1

Таблица 14 – Допустимые нормы условий микроклимата для Ia категории

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Для диапазона температур ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур выше оптимальных величин, не более
Холодный	(20,0 – 21,9)	(24,1 – 25,0)	(15 – 75)	0,1	0,1
Теплый	(21,0 – 22,9)	(25,1 – 28,0)	(15 – 75)	0,1	0,2

5.2.1.5 Освещенность помещения

Под освещением в рабочем помещении понимают количество световой энергии, получаемой, распределяемой и используемой для обеспечения благоприятных условий видимости. Недостаток или переизбыток освещения может нести вред для зрения человека, а также ухудшать настроение и самочувствие, из-за чего снижается эффективность труда.

Всё оборудование, обеспечивающее освещение, должно соответствовать нормативным требованиям из СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [32]. Согласно этим требованиям, нормируемый показатель искусственного освещения в помещениях равен 300 лк.

В случае, если показатель освещенности не является нормальными, следует уменьшить освещенность путём отключения части оборудования или замены на менее мощное, либо добавить путём установки индивидуальный средств освещения; замены оборудования или выполнения рабочего помещения в светлых тонах, что обеспечит лучшее отражение света и повысит освещенность.

5.2.1.6 Психофизиологические факторы

Часто при долгой работе за компьютером у человека появляется переутомление, стресс, эмоциональное выгорание и умственное перенапряжение.

Если рабочее место организовано неправильно (рекомендации описаны выше), работоспособность сотрудника будет снижена, а утомляемость возрастет.

Оптимальный режим труда: при работе с данными, совершении операций на мониторе, чтении информации с экрана непрерывная продолжительность работы за компьютером не должна превышать 4 часов. Через каждый час работы необходимо делать перерыв на 5-10 минут, а через два часа – на 15 минут.

Чтобы предотвратить переутомление, соблюдать график труда с определенными перерывами, в периоды отдыха уходить с рабочего места (желательно в другую комнату), создать уютную атмосферу в рабочем помещении и позволить персонализировать рабочее место и процесс под удобства работника.

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Чтобы избежать большинства вредных факторов, описанных выше, можно грамотно выбрать рабочее помещение и оборудование. Таким образом, проведем выбор в рамках работы с объектом исследования данной работы.

Помещения по электробезопасности (это является самым важным фактором в данном случае, так как вся работа ведется за компьютером) делятся на категории [24]:

- помещения без повышенной опасности;
- помещения с повышенной опасностью;
- особо опасные помещения.

Под наши нужды подходит первая категория. Помещения из этой категории характеризуются пониженной влажностью воздуха (до 75%), нет токопроводящих полов и пыли, без высокой температуры и химической среды. Например, жилые и офисные помещения, кладовые для хранения инструментов, лаборатории, а также производственные цеха приборостроительных предприятий, проект которых изначально предусматривал наличие изолированного пола, мощные воздушные фильтры для устранения пыли и систему регулирования температуры воздуха;

Электрооборудование, необходимое для работы должно быть подобрано с учетом требований из предыдущего раздела, а именно и пунктов: электромагнитное и электростатические поля. Также следует регулярно проводить проверку и чистку оборудования и в случае выявления, устранять, это позволит избежать возникновения шума и электростатического заряда.

Данная разработка проводилась в 101-х аудиториях 10 корпуса ТПУ г. Томск. Эти аудитории полностью удовлетворяют требованиям по

электробезопасности, также для регулирования микроклимата присутствуют окна, обогреватели, а правила пользования всем оборудованием висят на каждой двери. Для студентов/работников создано комфортное рабочее место с хорошим освещением и просторным помещением, где можно отдохнуть в перерывах между работой. Также всегда присутствуют чай/кофе с печеньем для студентов.

5.3 Экологическая безопасность

Сама разработанная среда никакого влияния на экологию не несет, но если рассматривать конечную цель проводимых работ – научить роботов тушить лесной пожар, то наряду с вредом, наносимым возможными столкновениями с деревьями, вырывание почвы шасси и т.п; польза от тушения пожара стоит гораздо выше. Объектом анализа, в таком случае, будет выступать пожарный робот, а процесс исследования – непосредственное обучение тушению пожара в лесу реальных роботов.

5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

По данным от пожарного, для тушения лесных пожаров они используют специальные ранцы с водой, то есть, если робот будет тушить водой, негативного влияния химикатов и загрязнения не будет.

Так как обучение с подкреплением построено на огромном количестве попыток, а передвигаться по лесу, скорее всего, надо будет на гусеницах, имея внушительную массу (робот должен быть металлическим с большим запасом воды), то место обучения роботов будет сильно взрыто, что повредит всю флору.

В связи с тем, что тушение пожара может занимать длительное время, а потенциальная масса робота велика, использоваться в нем должен

двигатель внутреннего сгорания. Выхлопы от двигателя попадают в атмосферу и оказывают влияние на экологию.

Если обучение роботов пройдет не самым удачным образом, и они не смогут справиться с поставленной задачей, пожар нанесёт большой вред окружающей среде. Поэтому непосредственно процесс обучения имеет прямое влияние на экологическое состояние лесов.

Составим оценочную карту (таблица 15) возможных факторов влияния роботов на окружающую среду при тушении.

Таблица 15 – Оценочная карта влияния роботов на экологию

Факторы влияния	Баллы (0 – 10)	Значимость (0 – 1)	Итог (0 – 10)
Уничтожение растительности	10	0.2	2
Выхлопы двигателя	4	0.3	1.2
Плохое обучение	10	0.5	5

Составленная оценка факторов влияния на экологическое состояние окружающей среды показывает, что наибольший урон будет нанесён при невыполнении поставленной задачи роботам (сдерживание огня). Выхлопы двигателей являются несущественными при сравнении с каждодневными выбросами газов и выхлопов транспорта.

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Исходя из оценочной карты, упор мероприятий надо направить на успех обучения и, соответственно, тушения. Необходимо сделать всё, чтобы как можно сильнее облегчить работу роботу, например, установить более мощный двигатель, который будет сильнее загрязнять атмосферу, но зато робот сможет быстрее добраться до необходимой точки чтобы начать тушение. С другой стороны, лучше, чтобы вообще в лесу не возникало пожара, но это далеко уже от тематики данной работы.

Чтобы избежать плохое обучение, и разработана конкретно эта среда моделирования. А обучение, в общем, должно складываться из некоторых этапов. Задумка организации поэтапного обучения состоит из:

1. предобучение роботов на среде моделирования распространения пожара (разработка этой среды проведена в рамках этой дипломной работы). На этом этапе роботы должны научиться добираться без столкновений до пожара, эффективно по времени и ресурсам сдерживать фронт пожара, действовать сообща (образовывать фронт тушения), не попадать в пожар и, если потребуется, отступить и перераспределяться;
2. обучение роботов с помощью полунатурного моделирования. Здесь всё будет происходить в реальности: в качестве роботов будут использоваться Lego Mindstorms, которые будут тушить симитированный средой пожар. Таким образом, роботы будут взаимодействовать с программным пожаром в реальном мире. На этом этапе целью обучения является отработка синергия системы управления на нижнем уровне (на роботах) с работой управляющей программы, также подстройка гиперпараметров с идеальных условий на более реальные (абсолютно реальными считаются условия тушения в лесу);
3. продолжение обучения роботов с заменой лесного пожара на набор таблеток сухого горючего. Данный этап является краткосрочным и нужен только для апробации полученных результатов обучения с реальным огнем и пожарным роботизированным стволом;
4. обучение на реальных пожарных роботах в условиях тушения реального пожара. Данный этап сложно осуществим, в связи с необходимостью разработки и введения в использование пожарных роботов.

В связи с особенностью обучения с подкреплением (агент учится постоянно, когда совершает какие-либо действия в среде и получает от неё

ответ, другими словами, учиться он может бесконечно), конкретной продолжительности каждого предполагаемого этапа нет. Это зависит от результатов на каждом этапе и возникающих сложностей.

Если рассматривать меры по нивелированию урона по флоре от роботов, а точнее, от их движителей, то можно после, предположим, успешного тушения пожара садить растительность на поврежденных участках с помощью общественности, например.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Конкретно разработанная среда в рамках данной дипломной работы не может вызвать чрезвычайные ситуации, так как переполнения памяти компьютера не происходит, а баги в работе программы постоянно отлавливаются. В таком случае, рассмотрим возникновение ЧС при эксплуатации пожарных роботов. Таким образом, непосредственное тушение лесного пожара (и сопутствующее обучение роботов) является процессом исследования.

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

В основном, вероятные ЧС связаны с причинением вреда человеку при непосредственном контакте. Данный тип ЧС, возникающих при контакте с роботами, может возникать либо при прямом попадании тушащей струёй в человека, либо столкновением.

На данном этапе не предполагается, что роботы будут иметь возможность передвижения с высокой скоростью, что сглаживает чрезвычайную ситуацию со столкновением робота и человека. В ходе разработки на последующих этапах проекта эта возможность может

возникнуть как необходимость. Таким образом, в качестве ЧС стоит рассматривать только попадание струёй в человека.

5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Допускать наступления чрезвычайных ситуаций нельзя, поэтому необходимо заранее готовиться и предотвращать их. Чтобы предотвратить нанесение вреда человеку (с учетом отсутствия девиантного поведения), можно применить одно из следующих возможных решений:

- ввести жесткий алгоритм действий, основанный на показаниях датчиков, способных определить температуру объекта в «прицеле» (тепловизорные камеры). Такой метод организации предотвращения вреда человеку является нежелательным, так как это нарушает само обучение с подкреплением. Здесь нельзя жестко прописывать агенту правила и запреты, он должен их выучить сам. Поэтому такая организация защиты может сильно повлиять на работу по достижению главной цели – потушить пожар;
- обновить разработанные награды и штрафы, дабы добавить особенную позицию, однозначно характеризующую нахождение «прицела» не на пожаре, и штрафовать при появлении таких ситуаций. В таком случае, если предоставить роботу возможность тренироваться (это можно реализовать в той же разработанной среде моделирования, что проще, или в реальности) в таких условиях (с присутствием человека), он выучится отводить пожарный ствол от человека заранее. Этот вариант является более приоритетным, так как подобный подход открывает перед агентом новые возможности обучения;

- использовать жесткий запрет, но детектирование проводить с помощью нейросети, способной распознать человека по изображению с камеры. Данный метод схож с первым и также не является желаемым.

Определим возможный порядок действий при наступлении данного ЧС:

1. во-первых, робот должен детектировать попадание (например, с помощью камеры), и если ЧС случилась, остановить тушащую струю;
2. сигнализировать окружающих, что человеку требуется помощь. Сигнал может запускаться с успешным детектированием попадания в человека;
3. оказать первую помощь пострадавшему. Для этого у робота в быстром доступе должны быть средства для оказания медицинской помощи, а также носилки и т.п.;
4. доставить до дежурящих у недалеко от места тушения работников скорой помощи.

5.5 Выводы по разделу социальной ответственности

Разработанная в рамках дипломной работы среда не несет вреда окружающим, а, скорее, наоборот предобучает пожарных роботов, что в дальнейшем, при удачном обучении, принесет огромную пользу экологическому состоянию лесов.

Для разработки управляющей программы, работающей со средой, необходим программист, соответственно, и его рабочее место. Оно должно быть устроено по всем требованиям и рекомендациям, описанным в данном разделе.

При разработке пожарных роботов следует учитывать, что наиболее опасным фактором для робота и его работоспособности является

электрический. Поэтому, если правильно организовать защиту, можно повысить надежность работы.

Чтобы избежать возможное появление чрезвычайных ситуаций, которые наиболее вероятны с причинением урона человеку, следует заранее подготовиться как в программном, так и материальном планах.

Заключение

В ходе выполнения ВКР были достигнуты следующие цели:

- проведён поиск и анализ существующих средств моделирования очага пожара и способов его тушения;
- разработана структура среды моделирования, позволяющая коммуницировать с управляющей программой;
- разработан математический аппарат, позволяющий описать моделирование разгорания очага пожара;
- разработана модель взаимодействия роботов в среде;
- проведён дизайн наград и штрафов в соответствии с определёнными целями и ограничениями для группы роботов;
- разработан алгоритм визуализации среды;
- разработан ряд дополнительных средств среды, упрощающих разработку управляющей программы.

Также проведён финансовый анализ и разработана часть проекта, связанная с социальной ответственностью.

Conclusion

During the implementation of the diploma, the following objectives were achieved:

- a search and analysis of existing tools for modeling the fire source and methods for extinguishing it was conducted;
- the structure of the modeling environment was developed, which allows communicating with the control program;
- a mathematical apparatus was developed to describe the simulation of the burning of a fire;
- a model for the interaction of robots in the environment was developed;
- design of awards and fines was carried out in accordance with specific goals and limitations for a group of robots;
- an environment visualization algorithm was developed;
- a number of additional environmental tools have been developed that simplify the development of a control program.

A financial analysis was also carried out and a part of the project related to social responsibility was developed.

Список публикаций

1. Тюндеров К.В., Усенко К.Ю., Зарницын А.Ю. Проектирование системы группового управления на примере ликвидации пожаров на открытой местности с использованием методов обучения с подкреплением // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. - С. 260-261.

Список используемой литературы

1. Лесные пожары в Австралии (2019—2020) // Wikipedia URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Лесные_пожары_в_Австралии_\(2019—2020\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лесные_пожары_в_Австралии_(2019—2020)) (дата обращения: 5.04.2020);
2. 2019 год стал вторым с начала века по площади лесных пожаров в России // Сетевое издание ZAB.RU: Портал Читы и Забайкальского края URL: https://zab.ru/news/123686_2019_god_stal_vtorym_s_nachala_veka_po_ploshadi_lesnyh_pozharov_v_rossii (дата обращения: 5.04.2020);
3. Самые разрушительные лесные пожары в мире в 2019 году: где и почему // Сетевое издание "Правда.Ру" URL: https://www.pravda.ru/news/world/1463266-mir_lesnye_pozhary/ (дата обращения: 5.04.2020);
4. Gym // OpenAi URL: <https://gym.openai.com/> (дата обращения: 6.04.2020);
5. Introduction to RL and Deep Q Networks // GitHub, Inc. URL: https://github.com/tensorflow/agents/blob/master/docs/tutorials/0_intro_rl.ipynb (дата обращения: 4.04.2020);
6. Канонические уравнения прямой проходящей через две заданные точки пространства // Студопедия URL: https://studopedia.su/11_72699_kanonicheskie-uravneniya-priamoy-prohodyashchey-cherez-dve-zadannie-tochki-prostranstva.html (дата обращения: 4.04.2020);
7. Вращение фигуры в 3-х мерном пространстве // Компьютерная графика URL: <http://grafika.me/node/82> (дата обращения: 5.04.2020);
8. Уравнение прямой на плоскости. Направляющий вектор прямой. Вектор нормали // mathprofi.ru URL: http://www.mathprofi.ru/uravnenie_pryamoi_na_ploskosti.html (дата обращения: 4.04.2020);

9. Python Arcade Library // arcade.academy URL: <https://arcade.academy/> (дата обращения: 10.04.2020);
10. Pyplot tutorial // Matplotlib URL: <https://matplotlib.org/3.2.1/tutorials/introductory/pyplot.html> (дата обращения: 10.04.2020);
11. Руководство по PyQt5 // Python-scripts.com Yelly URL: <https://python-scripts.com/pyqt5> (дата обращения: 10.04.2020);
12. Введение в Tkinter // Habr.com - Журнал для думающих людей URL: <https://habr.com/ru/post/133337/> (дата обращения: 10.04.2020);
13. Pyglet project // pyglet.org URL: <https://github.com/pyglet/pyglet> (дата обращения: 10.04.2020);
14. Знакомимся с OpenGL // Habr.com - Журнал для думающих людей URL: <https://habr.com/ru/post/111175/> (дата обращения: 10.04.2020);
15. NumPy // numpy.org URL: <https://numpy.org/> (дата обращения: 11.04.2020);
16. Python 3: Генерация случайных чисел (модуль random) // readthedocs.io URL: <https://ps.readthedocs.io/ru/latest/random.html> (дата обращения: 11.04.2020);
17. Коэффициент полезного действия // Wikipedia URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_полезного_действия (дата обращения: 11.04.2020);
18. Моделирование пожара // MST URL: <https://mst.su/fenix/integration/> (дата обращения: 5.04.2020);
19. Локализация пожара 3D // FireTactics.ru URL: <http://firetactics.ru/desktop/firelocal/> (дата обращения: 5.04.2020);
20. Постановление Правительства Российской Федерации «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» от 1.01.2002 № 1 с изм. и допол. в ред. от 27.12.2019;

21. Кодекс Российской Федерации "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 № 197-ФЗ // Российская газета. 2001 г. № 256. с изм. и допол. в ред. от 16.12.2019;
22. Межгосударственный стандарт "ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования" от 26 апреля 1978 № 1102 // Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. 1979 г;
23. Государственный стандарт Союза ССР "ГОСТ 21889-76. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования" от 25.05.76 № 1283 // Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР. 1977 г. с изм. и допол. в ред. от март 1993 г;
24. Классификация помещений по электробезопасности // Электрик в доме - сайт домашнего электрика electricvdome.ru URL: <https://electricvdome.ru/electrobezopastnost/klassifikaciya-pomeshhenij-po-elektrobezopasnosti.html> (дата обращения: 09.05.2020);
25. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР "Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования." от 22 декабря 1976 г. № 2798 // Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР. 1978 г;
26. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы "СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" от 3 июня 2003 г. № 118 // Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. 2003 г. с изм. и допол. в ред. от 21 июня 2016 года;
27. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ "ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению

- контроля." от 17 сентября 1984 г. № 3236 // Постановление Государственного комитета СССР по стандартам. 1985 г. с изм. и допол. в ред. от Октябрь 2006 г;
- 28.МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ "ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности" от 5 декабря 2014 г. № 46 // Протокол Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации. 2015 г;
- 29.МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ "ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума." от 31 октября 1980 г. № 5237 // Постановление Государственного комитета СССР по стандартам. 1981 г. с изм. и допол. в ред. от Апрель 2001 г;
- 30.САНИТАРНЫЕ ПРАВИЛА И НОРМЫ "СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" от 1 октября 1996 г. № 21 // Постановление Госкомсанэпиднадзора России. 1996 г;
- 31.МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ " Действующий ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" от 29.09.88 № 3388 // Постановление Государственного комитета СССР по стандартам. 1989 г. с изм. и допол. в ред. от июнь 2000 г;
- 32.МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ "СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" от 8 апреля 2003 года № 34 // Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. 2003 г;
- 33.САНИТАРНЫЕ НОРМЫ "СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды." от 31 октября 1996 г. № 36 // Постановление Госкомсанэпиднадзора России. 1996 г.